

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-160552

(43)Date of publication of application : 12.06.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065

G01B 11/06

G01B 11/22

H05H 1/00

H05H 1/46

(21)Application number : 2000-297576

(71)Applicant : APPLIED MATERIALS INC

(22)Date of filing : 24.08.2000

(72)Inventor : GRIMBERGEN MICHAEL N

(30)Priority

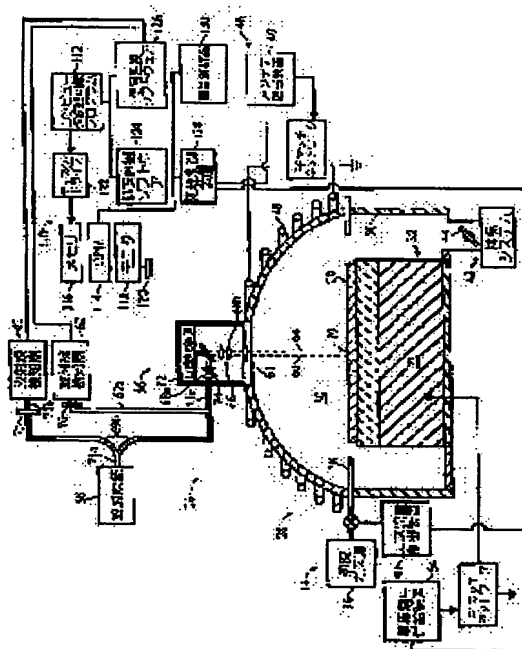
Priority number : 1999 379753

Priority date : 24.08.1999

Priority country : US

(54) MONITORING A PROCESS AND COMPENSATING FOR RADIATION SOURCE FLUCTUATIONS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To monitor a substrate fabrication process.**SOLUTION:** A substrate processing apparatus comprises a process chamber having a radiation source. One or more detectors are provided to detect a first radiation from the chamber and a second radiation from the radiation source. A signal analyzer is adapted to normalize the first radiation relative to the second radiation, and optionally, to apply a correction factor to the sample signal.**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-160552
(P2001-160552A)

(43)公開日 平成13年6月12日(2001.6.12)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード*(参考)
H 0 1 L 21/3065		G 0 1 B 11/06	G
G 0 1 B 11/06		11/22	G
11/22		H 0 5 H 1/00	A
H 0 5 H 1/00		1/46	A
1/46		H 0 1 L 21/302	E

審査請求 未請求 請求項の数56 O L 外国語出願 (全 54 頁)

(21)出願番号 特願2000-297576(P2000-297576)

(22)出願日 平成12年8月24日(2000.8.24)

(31)優先権主張番号 09/379753

(32)優先日 平成11年8月24日(1999.8.24)

(33)優先権主張国 米国 (US)

(71)出願人 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレ
イテッド

APPLIED MATERIALS, I
NCORPORATED

アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95054 サンタ クララ パウアーズ ア
ベニュー 3050

(72)発明者 マイケル エヌ グリムバーゲン

アメリカ合衆国 カリフォルニア州
94065 レッドウッド シティー マーテ
ィニク ドライヴ 767

(74)代理人 100059959

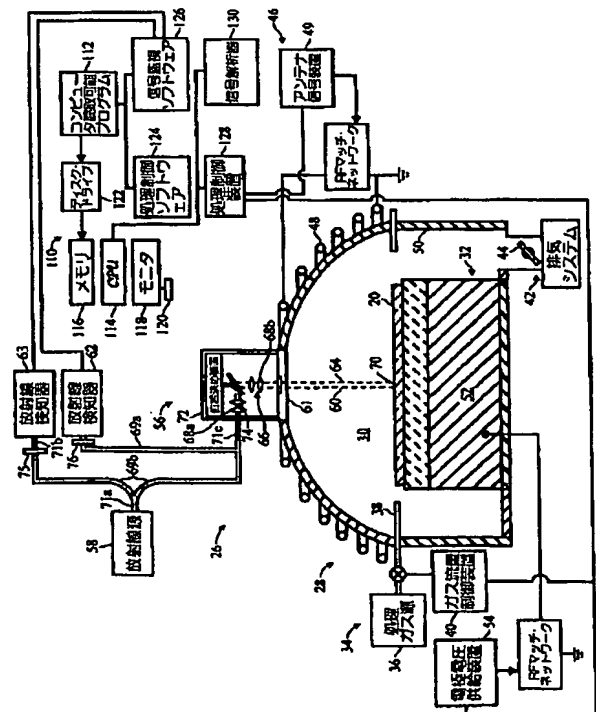
弁理士 中村 稔 (外9名)

(54)【発明の名称】 処理の監視及び放射線源揺らぎの補償

(57)【要約】

【課題】 本発明は、基板製造処理の監視に関する。

【解決手段】 基板処理装置は、放射線源を持つ処理室を含む。1つ又はそれ以上の検知器は、前記室からの第1の放射線と前記放射線源からの第2の放射線とを検知するために準備される。信号解析器は、前記第2の放射線に対して前記第1の放射線を正規化し、また随意的に、補正係数を前記試料信号に適用するように準備される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 (a) 放射線源を含む室と、

(b) 前記室からの第 1 の放射線と前記放射線源からの第 2 の放射線とを検知するための 1 つ又はそれ以上の検知器と、

(c) 前記第 2 の放射線の特性に対して前記第 1 の放射線の特性を正規化するための信号解析器とを含むことを特徴とする基板処理装置。

【請求項 2】 前記検知器は、前記第 1 及び第 2 の放射線の同じ特性を検知するようになっており、前記特性は、強度、位相、又は、波長のうちの 1 つ又はそれ以上を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】 前記検知器は、前記処理の終点を求めるために前記第 1 及び第 2 の放射線を検知するようになっていることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】 前記室内で反射された第 1 の放射線を検知し、且つ、試料信号を発生する第 1 の検知器と、前記放射線源からの第 2 の放射線を検知し、且つ、基準信号を発生する第 2 の検知器とを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】 前記信号解析器は、正規化された信号を求めるために、前記基準及び試料信号を互いに対して正規化することを特徴とする請求項 4 に記載の装置。

【請求項 6】 前記信号解析器は、前記信号の比を求めることにより前記基準及び試料信号を正規化することを特徴とする請求項 5 に記載の装置。

【請求項 7】 前記信号解析器は、補正係数を前記正規化された信号に適用することにより、補正された試料信号を求めるようになっていることを特徴とする請求項 6 に記載の装置。

【請求項 8】 前記信号解析器は、 C が前記補正係数、 Y_0 が時刻 0 での前記基準信号、 X_t が時刻 t での前記試料信号、及び、 Y_t が時刻 t での前記基準信号であるような、式 $X_{nt} = X_t / \{Y_0 + C(Y_t - Y_0)\}$ を用いて、補正された試料信号 X_{nt} を求めることを特徴とする請求項 7 に記載の装置。

【請求項 9】 前記信号解析器は、 X_1 が時刻 1 での前記試料信号であるような、式 $C = \{Y_0(X_t - X_1)\} / \{X_1(Y_t - Y_0)\}$ を用いて前記補正係数を求めることを特徴とする請求項 8 に記載の装置。

【請求項 10】 前記信号解析器は、 X_0 が時刻 0 での前記試料信号、及び、 X_1 が時刻 1 での前記試料信号であるような、式 $C = X_0 / X_1$ を用いて前記補正係数を求めることを特徴とする請求項 8 に記載の装置。

【請求項 11】 前記第 2 の放射線を前記放射線源から前記第 2 の検知器に伝達することが可能な放射線経路を更に含むことを特徴とする請求項 4 に記載の装置。

【請求項 12】 前記放射線経路は、放射線伝達ファイバ内にあることを特徴とする請求項 11 に記載の装置。

【請求項 13】 前記放射線伝達ファイバは、光ファイ

バを含むことを特徴とする請求項 12 に記載の装置。

【請求項 14】 前記放射線源は、ランプ、発光ダイオード、レーザ、又は、前記室内のプラズマからの放射線放出を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 15】 室内の基板の処理段階を監視する方法であって、

(a) 前記室内に放射線を準備し、前記放射線が処理中の前記基板と相互作用した後に前記放射線を検知し、且つ、試料信号を発生する段階と、

(b) 前記基板と相互作用しない基準放射線を検知し、且つ、基準信号を発生する段階と、

(c) 前記試料信号を前記基準信号に対して正規化する段階とを含むことを特徴とする方法。

【請求項 16】 段階 (c) は、前記基準信号と前記試料信号との比を求める段階、又は、前記基準信号を前記試料信号から減算する段階を含むことを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】 補正された試料信号を求めるために、前記試料信号に補正係数を適用することにより背景放射線に対して補正する段階を更に含むことを特徴とする請求項 16 に記載の方法。

【請求項 18】 C が前記補正係数、 Y_0 が時刻 0 での前記基準信号、 X_t が時刻 t での前記試料信号、及び、 Y_t が時刻 t での前記基準信号であるような、前記式 $X_{nt} = X_t / \{Y_0 + C(Y_t - Y_0)\}$ を用いて前記補正された試料信号 X_{nt} を求める段階を含むことを特徴とする請求項 17 に記載の方法。

【請求項 19】 X_1 が時刻 1 での前記試料信号であるような、前記式 $C = \{Y_0(X_t - X_1)\} / \{X_1(Y_t - Y_0)\}$ を用いて前記補正係数を計算する段階を含むことを特徴とする請求項 18 に記載の方法。

【請求項 20】 X_0 が時刻 0 での前記試料信号、及び、 X_1 が時刻 1 での前記試料信号であるような、前記式 $C = X_0 / X_1$ を用いて前記補正係数を計算する段階を含むことを特徴とする請求項 18 に記載の方法。

【請求項 21】 段階 (b) は、前記室内の処理中の前記基板から反射した放射線を検知する段階を含むことを特徴とする請求項 18 に記載の方法。

【請求項 22】 放射線源から直接検知器に放射線を伝達することにより前記基準放射線を検知する段階を更に含むことを特徴とする請求項 18 に記載の方法。

【請求項 23】 (a) 放射線源を含み、基板を処理することが可能な室と、

(b) 前記室からの反射放射線を検知し、且つ、試料信号を発生する検知器と、

(c) 前記試料信号を受信し、且つ、 C が前記補正係数、 Y_0 が時刻 0 での前記基準信号、 X_t が時刻 t での前記試料信号、及び、 Y_t が時刻 t での前記基準信号であるような、前記式 $X_{nt} = X_t / \{Y_0 + C(Y_t - Y_0)\}$ を用いて補正された試料信号 X_{nt} を求めるようになって

いる信号解析器とを含むことを特徴とする基板処理装置。

【請求項24】 前記信号解析器は、 X_1 が時刻1での前記試料信号であるような、前記式 $C = \{Y_0(X_t - X_1)\} / \{X_1(Y_t - Y_0)\}$ を用いて前記補正係数を求めることを特徴とする請求項23に記載の装置。

【請求項25】 前記信号解析器は、 X_0 が時刻0での前記試料信号、及び、 X_1 が時刻1での前記試料信号であるような、前記式 $C = X_0/X_1$ を用いて前記補正係数を求めることを特徴とする請求項23に記載の装置。

【請求項26】 前記検知器は、前記放射線源から発生された放射線を検知し、且つ、基準信号を発生するようになっており、及び、前記信号解析器は、前記基準信号を受信し、且つ、前記試料及び基準信号から正規化された信号を求めるようになっており、ことを特徴とする請求項23に記載の装置。

【請求項27】 前記信号解析器は、前記試料及び基準信号の比を計算することにより前記正規化された信号を求めることを特徴とする請求項26に記載の装置。

【請求項28】 放射線を前記放射線源から前記基準検知器に伝達することが可能な放射線経路を更に含むことを特徴とする請求項23に記載の装置。

【請求項29】 前記放射線経路は、1つ又はそれ以上のファイバ内にあることを特徴とする請求項28に記載の装置。

【請求項30】 (a) 放射線源を含み、基板を処理することが可能な室と、

(b) 前記室からの反射放射線を検知し、且つ、試料信号を発生する試料検知器と、

(c) 前記放射線源からの基準放射線を検知し、且つ、基準信号を発生する基準検知器と、

(d) 前記基準放射線を前記基準検知器に伝達する1つ又はそれ以上の第1のファイバを含むことを特徴とする基板処理装置。

【請求項31】 放射線を前記放射線源から前記室に伝達する第2のファイバを更に含むことを特徴とする請求項30に記載の装置。

【請求項32】 前記第1及び第2のファイバは、前記放射線源の1つ又はそれ以上のほぼ同じ大きさを持つ区域からの放射線を受けるように配置されることを特徴とする請求項31に記載の装置。

【請求項33】 前記区域は、前記放射線源の同じ領域から派生することを特徴とする請求項32に記載の装置。

【請求項34】 前記第1及び第2のファイバは、実質的に重なる視野を持つように配置されることを特徴とする請求項31に記載の装置。

【請求項35】 前記第1のファイバは、前記放射線源から前記基準検知器に直接至ることを特徴とする請求項31に記載の装置。

【請求項36】 前記放射線源からの前記基準放射線を、前記第1のファイバ上に焦点を合わせるためのレンズを更に含むことを特徴とする請求項31に記載の装置。

【請求項37】 前記基準及び試料信号を受信し、且つ、一方を片方に対して正規化し、及び、随意的に前記試料信号を背景放射線に対して補正するための信号解析器を更に含むことを特徴とする請求項31に記載の装置。

10 【請求項38】 (a) プラズマを含む放射線源を持ち、基板を処理することが可能な室と、

(b) 前記室内の基板からの反射放射線を検知し、且つ、試料信号を発生する試料検知器と、

(c) 前記プラズマからの基準放射線を検知し、且つ、基準信号を発生する基準検知器と、

(d) 前記基準放射線を前記基準検知器に伝達する1つ又はそれ以上の第1のファイバを含むことを特徴とする基板処理装置。

20 【請求項39】 前記第2のファイバは、前記プラズマの側面から、又は、前記基板の上方に位置しない前記プラズマの隅部から放射線を受けることを特徴とする請求項38に記載の装置。

【請求項40】 (a) 放射線源を含む室と、

(b) 放射線源からの放射線の特性を検知する検知器と、

(c) 前記放射線の前記検知された特性に対して前記放射線源の電力レベルを調節するフィードバック制御装置とを含むことを特徴とする基板処理装置。

30 【請求項41】 前記フィードバック制御装置は、前記放射線源に電力を供給する電源を制御するようになっており、ことを特徴とする請求項40に記載の装置。

【請求項42】 前記フィードバック制御装置は、前記放射線の前記特性を一定のレベルに維持するようになっていることを特徴とする請求項40に記載の装置。

【請求項43】 前記検知器は、前記放射線の、強度、位相、又は、波長のうちの1つ又はそれ以上を含む特性を検知するようになっており、ことを特徴とする請求項40に記載の装置。

【請求項44】 (a) 室と、

(b) 放射線源と、

(c) 放射線源からの放射線の特性を検知し、且つ、基準信号を発生する検知器と、

(d) 前記放射線源から前記室に伝達されている放射線の経路内に位置し、それにより、前記放射線源から信号を受信し、且つ、前記基準信号に対して前記放射線の特性を制御することができる放射線変調器とを含むことを特徴とする基板処理装置。

50 【請求項45】 前記検知器は、前記放射線の、強度、位相、又は、波長のうちの1つ又はそれ以上を含む特性を検知するようになっており、ことを特徴とする請求項4

4に記載の装置。

【請求項46】 前記放射線変調器は、前記放射線の強度を調節するようになっていることを特徴とする請求項44に記載の装置。

【請求項47】 前記放射線変調器は、前記放射線の前記強度を一定のレベルに維持するようになっていることを特徴とする請求項44に記載の装置。

【請求項48】 前記放射線変調器は、シャッター、ミラー、又は、可変密度スクリーンを含むことを特徴とする請求項44に記載の装置。

【請求項49】 前記放射線変調器は、前記放射線を部分的に減衰させる手段を含むことを特徴とする請求項48に記載の装置。

【請求項50】 前記放射線変調器は、電気光学変換器、又は、音響光学変換器を含むことを特徴とする請求項44に記載の装置。

【請求項51】 前記放射線は、前記検知器に1つ又はそれ以上の放射線伝達ファイバにより伝達されることを特徴とする請求項44に記載の装置。

【請求項52】 室内の基板の処理段階を監視する方法であって、

- (a) 前記室内に放射線を準備する段階と、
- (b) 前記基板と相互作用しない基準放射線を検知し、且つ、基準信号を発生する段階と、
- (c) 前記基準信号に対して前記放射線の特性を制御する段階とを含むことを特徴とする方法。

【請求項53】 段階(c)は、放射線源の電源に適用される電力レベルを制御する段階を含むことを特徴とする請求項50に記載の方法。

【請求項54】 前記放射線が処理中の前記基板と相互作用した後に前記放射線を検知する段階と、試料信号を発生する段階と、前記基準信号と前記試料信号との比を求める、又は、前記基準信号を前記試料信号から減算する段階とを更に含むことを特徴とする請求項50に記載の方法。

【請求項55】 補正された試料信号を求めるために前記試料信号に補正係数を適用することにより背景放射線に対して補正する段階を更に含むことを特徴とする請求項51に記載の方法。

【請求項56】 前記基準放射線をファイバを通じて伝達する段階を含むことを特徴とする請求項54に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、基板製造処理の監視に関する。

【0002】

【従来の技術】 電子装置の製作において、例えばポリシリコンや二酸化珪素のような、半導体、誘電及び導電材料、及び、金属含有層は、基板上に沈着され、ゲート・

パターン、パイア、接点孔、及び、相互接続線などの形態を形成するためにエッチングされる。これらの形態は、通常、化学蒸着(CVD)、物理蒸着(PVD)、酸化、及び、エッチング処理により形成される。例えば、一般的なエッチング処理では、フォトリソストまたは酸化物ハードマスクのパターン付きマスクは、写真平版の方法により基板上に形成され、基板の露出部は、プラズマによりエッチングされる。一般的なCVD処理では、基板に層を蒸着させるためにガスのプラズマは分解される。PVD処理では、基板上にターゲット材料を蒸着させるために、基板に向いているターゲットはスパッタリングされる。

【0003】 そのような処理では、圧力や温度などの処理条件、室の側壁への沈着、及び、特に、エッチングの深さ、層の厚み、そして組成などの基板特性を含む、処理室内の事象を監視することは、しばしば必要になる。例えば沈着処理では、基板に沈着されているフィルムの性質を変えるために処理条件を変えること、又は、目標とするフィルム厚が得られた後に沈着を止めることが好ましい場合がある。エッチング処理では、所定の厚みで特定の層(例えば、ゲート酸化物層)のエッチングを止めるのが好ましい場合もある。基板の特性を監視する手法は、基板、及び/又は、プラズマと相互作用するために処理室に放射線を準備する段階と、室から発する放射線を検知する段階とを伴う。また、室の壁に形成される沈着物の厚みなどの室の条件は、室の壁上に放射線向け、反射した放射線を測定することにより監視することができる。

【0004】 このような監視手法の例には、干渉法と偏光解析法とがある。干渉法では、基板の層の上に向けられた光ビームは、一部は層の表面から反射し、一部は層を通過して1つ又はそれ以上の下層により反射される。多重反射の建設的且つ破壊的な干渉は、干渉パターンを引き起こし、それは、基板上で処理されている層の厚さを通過する放射線の路程により周期的な極大・極小を伴う。基板を処理する前に、層の初期厚さが仮定されるか、又は測定される。処理している間、測定された干渉パターンの観察された周期的極大・極小は、処理の終点を推算するために、計算された層厚の減少と直接、相関される(結果的には処理中の層を通過する放射線の路程長が変更されることになる)。干渉法で使用する装置及び手法の例は、米国特許番号4,776,695, 5,691,540, 4,680,084, 4,840,487、及び、5,087,121で説明されており、全て本書に引用されている。別の例として偏光解析法では、例えば米国特許番号3,874,797及び3,824,017で開示され、本書にいずれも引用されているように、偏光ビームは、基板上で処理されている層から反射され、層が処理されている時に起こる反射光ビームの位相と大きさとの変化を求めるために解析さ

れる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】サブミクロンの大きさの形態の処理においては、基板上の形態処理の監視に使用される放射線信号の大きさは、その形態の大きさが小さくなるに比例して小さくなる。その結果、監視された信号のSN比はかなり低減させられ、放射線信号の発信元である光源のいかなる変化も、監視される放射線信号の低減に関わる役割が大きい。従来技術による処理では、光源の変動レベルは小さく、処理で生じた反射放射線の変化の大きさが比較的大きかったために、それは重要な問題ではなかった。しかしながら、エッチングされる形態の大きさ、又はエッチング及び沈着される層厚が小さくなるにつれて、反射放射線の変化の大きさも小さくなり、これまで検知不可能であった信号変動は、現在SN比を容認できないほどの低レベルに低減している。

【0006】更に、プラズマから発生する放射線は、処理の間に監視中の放射線信号と干渉する場合もあり、これにより、監視中の放射線信号のSN比が更に、低減される。外部放射線源が放射線発生源として使用されると、特に測定中の放射線がプラズマにより放射される放射線と同様の波長を持つ場合には、プラズマからの背景放射線は、監視中の放射線測定値に干渉するか、又はそれを支配する。このような波長の重なりは、例えば水銀灯が放射線源として使用され、二酸化珪素または他の誘電層が、フッ素またはアルゴン含有プラズマによりエッチングされている場合に起こる。このような場合には、背景及び放射線源の変動の影響を低減させることが好ましい。従って、処理室でのプラズマによる基板処理中に放射線信号を正確に監視することが好ましい。更に、処理中に起こる信号変動を低減させ、放射線測定値のSN比を改善することが好ましい。また、現存の装置に容易に適合できる処理室と監視システムとを持つことが好ましい。

【0007】

【課題を解決するための手段】これらの必要性は、本発明により満足される。1つの形態において本発明は、処理室と、室内で放射線を準備することができる放射線源と、室からの第1の放射線と放射線源からの第2の放射線を検知する1つ又はそれ以上の検知器と、第2の放射線の特性に関して第1の放射線の特性を正規化する信号解析器とを含む基板処理装置を提供する。別の形態では、室内での基板の処理を監視する方法は、室内で放射線を準備する段階と、放射線が処理中の基板と相互作用した後に放射線を検知する段階と、基板と相互作用しない基準放射線を検知する試料信号と基準信号とを発生させる段階と、基準信号に関して試料信号を正規化する段階とを含む。

【0008】更に別の形態では、基板処理装置は、基板の処理が可能な室を含む。室は放射線源を含む。検知器

は、室からの反射放射線を検知し、試料信号を発生するために準備される。信号解析器は、試料信号を受信し、式 $X_{nt} = X_t / \{Y_0 + C(Y_t - Y_0)\}$ を用いて補正済試料信号 X_{nt} を求めるようになっているが、ここで、 C は補正係数、 Y_0 は時間0での基準信号、 X_t は時刻 t での試料信号、及び、 Y_t は時刻 t での基準信号である。また別の形態では、基板処理装置は、基板を処理可能な室を含む。室は放射線源を含む。試料検知器は、室からの反射放射線を検知して試料信号を発生するために準備される。基準検知器は、放射線源からの基準放射線を検知して基準信号を発生するために準備され、そして、基準検知器に基準放射線を伝達するために1つ又はそれ以上の最高級ファイバが準備される。

【0009】更に別の形態では、基板処理装置は、基板を処理可能な室を含む。室は、プラズマと、室内の基板からの反射放射線を検知して試料信号を発生する試料検知器と、プラズマから基準放射線を検知して基準信号を発生する基準検知器と、基準検知器に基準放射線を伝達するための1つ又はそれ以上の最高級ファイバとを持つ放射線源を含む。また別の形態では、基板処理装置は、放射線源を持つ室と、放射線源からの放射線の特性を検知する検知器と、検知された放射線特性に関連して放射線源の電力レベルを調節するフィードバック制御装置とを含む。

【0010】また別の形態では、基板処理装置は、室と、放射線源と、放射線源からの放射線の特性を検知して基準信号を発生する検知器と、放射線源から室へ伝達されている放射線の経路内の放射線変調器とを含み、放射線変調器は、放射線源から信号を受信し、基準信号に関連して放射線特性を制御することができる。更に別の形態では、室内での基板の処理を監視する方法は、室内で放射線を準備する段階と、基板と相互作用しない基準放射線を検知して基準信号を発生する段階と、基準信号に関連して放射線特性を制御する段階とを含む。

【0011】

【発明の実施の形態】本発明の上記及び他の特徴、形態、及び利点は、本発明の例を示す以下の図面、説明、及び添付請求項により更に良く理解されるであろう。また、以下の説明及び図面は、本発明の具体例的な形態を示すが、各々の形態は、特定の図面にのみ単に関連するのではなく本発明に一般的に用いることができ、本発明は、これらの形態のいかなる組み合わせも含むことが理解される。

【0012】本発明は、例えば、反射率/吸光度、干渉法、偏光解析法、及びホトルミネセンスなどの放射線測定手法により装置内の事象を監視するのに有益である。事象とは例えば、圧力、温度、及び室の側壁などの処理条件、及び、エッチング深さ、層の厚さ、トレンチ深さ、及び、組成などの基板特性を含む処理の特性である。本発明は、終点検知と、プラズマ・エッチングまた

は蒸着処理中に行われる干渉法などの反射率を基本とした処理とに特に有益である。例えば、基板 20 は、図 1 に示すエッチング装置 26 でエッチングすることができ、基板 20 に行われているエッチング処理を本発明により監視することができる。通常、基板 20 は、シリコン・ウェーハなどのサポート、又は、化合物半導体、又は、二酸化珪素などの誘電材を含み、且つ、その上に例えば、誘電層、半電導層、及び、金属含有導体層のような複数の層を持つことができる。一般に装置 26 は、基板 20 を処理するための処理ゾーン 30 と、基板 20 を支持するサポート 32 とを持つ処理室 28 を含む。処理ガスは、ガス搬送システム 34 を通って室 28 に導入されるが、ガス搬送システムは、処理ガス供給 36 と、基板 20 の周辺部（図示）または室天井部に取り付けられたシャワー・ヘッド（図示しない）内に位置するガス出口 38 と、処理ガスの流量を制御するようになっているガス流量制御装置 40 とを含む。使用済み処理ガスとエッチング液副産物とは、粗選及びターボ分子ポンプ（図示しない）を含む排気口 42 を通って室 28 から排出され、絞り弁 44 は、室 28 の処理ガスの圧力を制御するために使用される。高エネルギー・ガスすなわちプラズマは、プラズマ発生器 46 により処理ガスから発生されるが、プラズマ発生器は、RF またはマイクロ波を室 28 の処理ゾーン 30 内の処理ガスに連結し、これは例えば、アンテナ用電源 49 により電力供給され、RF エネルギーを誘電的に室に連結する 1 つ又はそれ以上のコイルを持つ誘導子アンテナ 48 によりなされる。更に、室 28 の電氣的に接地された天井または側壁などの第 1 の処理電極 50 と、基板 20 の下の RF バイアスされたサポート 32 などの第 2 の電極 52 とは、室 28 内のガスを更に加圧するために使うことができる。第 1 及び第 2 の電極 50、52 は、電極電圧供給 54 により与えられる RF 電圧により電氣的に互いにバイアスされている。誘導子アンテナ 48 と電極 50、52 とに加えられる RF 電圧の周波数は、一般的に約 50 KHz から約 60 MHz までであり、典型的には約 13.56 MHz である。

【0013】本装置はまた、室 28 内に放射線源を準備するために、室の外側か内側に位置する放射線源 58 を含む。放射線源 58 は、例えば、室 28 内で発生したプラズマからの放射を含み、プラズマ放射は一般に多重スペクトルで、すなわち、スペクトル全体に亘って広がる多くの波長を持つ放射線を与える。放射線源 58 はまた、放射線 60 が放射線源 58 から窓 61 を通過して室 28 に入るように、室 28 の外側に配置することができる。放射線源 58 は、紫外線（UV）、可視放射線、又は、赤外線などの放射線か、X 線など他の種類の放射線かを準備することができる。1 つのバージョンにおいては、放射線源 58 は、1 つ又は数個の波長で主要な放射線を持つ単色光、例えばヘリウム・ネオン・レーザまたはネオジム・イットリウム・アルミニウム・ガーネット

・レーザなど、の支配的波長だけを持つ放射線を準備する。代わりに、放射線源 58 は、多色光などの多重波長の放射線を準備することができ、実質的に単一波長だけを準備するためにそれは選択的にフィルタにかけられる。多色光を準備するための適当な放射線源 58 は、約 180 から約 600 ナノメートルまでの範囲の波長を持つ多色光スペクトルを発生させる水銀放電灯、キセノンまたは水銀キセノン灯やタングステン・ハロゲン灯などのアーク灯、及び、発光ダイオード（LED）を含む。

【0014】処理の監視中に、放射線源 58 から放射される放射線特性または他の特長の不安定性は、監視または検知された放射線の SN 比を大幅に低減することが発見された。これらの不安定性は、放射線の強度、波長、又は位相の変化という形をとることができる。例えば紫外線灯は、基板を完全に処理するまでの時間に、放射された紫外線にかなりの強度不安定性を示すことがわかった。水銀アーク灯の研究から更に、これらのランプの強度は、時間の関数として時間的に、異なる強度を放射するランプの異なる区域により空間的に、また、時間的かつ空間的にも変動し、且つ、時間的変動はまた、異なる波長により異なるということが発見された。不安定性は、スパイク、ジャンプ、及び広帯域ノイズを含む。低圧放電水銀灯の強度は、一連の実験により数日間にわたり帯域フィルタ付き UV 感応 PMT 検知器を用いて測定された。ランプの強度は、最大 5 % の振幅と 3 秒から 90 秒までの周期とで、分、時間、更に、日単位の期間に亘って断続的に振動することが観測された。同様の不安定性は、アーク灯など他の放射線源についても観測することができる。不安定性は予測できるものではなく、わずかに数秒間、又は数時間起こる場合があり、特に測定される形態が薄い、又は小さい時には、かなり不正確な測定結果をもたらす。従ってランプの不安定性は、基板の処理中に現場で補正することが重要である。

【0015】更にシステム 56 は、室 28 から放射される放射線 64 と、放射線が室壁または基板 20 から反射した後の放射線 64 とを検知するための試料検知器の役目をする第 1 の放射線検知器 62 を含む。1 台の放射線検知器 62 を、例えば、放射線源 58 からの入力と処理室 28 からの入力とを切り換えることにより、反射した放射線と直接放射線源 58 から発射される放射線との両方を検知するのに使用することができる。代わりに、本システム 56 はまた、例えば、放射線源 58 から放射された放射線を検知するための基準検知器の役目をする第 2 の放射線検知器 63 を含む複数の検知器を持つことができる。検知器 62、63 は、試料放射線 64 の測定強度に対応して電氣的出力信号を準備する光電池、光ダイオード、光電子増倍管、又はフォトトランジスタなどの放射線センサを含む。検知器信号は、電気部品を通過する電流レベルの変化、又は電気部品に亘って加えられる電圧の変化を含むことができる。検知器は、日本のハマ

マツから市販されているような光電子増倍管 (PMT) を含むことができる。

【0016】検知器62、63は、室28から検知器62、63へ至るような、1つ又はそれ以上の放射線伝達ファイバ69、又は、放射線導管など放射線を伝達する他の同等な手段により室28に連結することができる。これにより、放射線が搬送される孤立した放射線経路を準備することで、外部環境からのノイズは低減される。ファイバ69の型は、それを通して伝達される放射線により異なり、例えば、光ファイバは、紫外線または可視放射線の伝達に適する。1つのバージョンにおいては、図1に示すように、ファイバ69は、1つ又はそれ以上の組または束のファイバを含み、例えば、その1つのファイバ束69aは、室28内で基板20を処理中に放射線特性を測定する試料検知器62に、室28から放射された放射線を伝達するために使われる。もう1つのファイバ束69bは、一端71aが放射線源58から直接的に放射線を受け、2つに分岐した他端71b、71cは、基準検知器63と室28とに各々放射線を伝達するように配置される。このようなファイバの配置は、直接放射線源58から室と検知器とに放射線を伝達するのに適し、放射線源から与えられる放射線特性の時間的変動、すなわち放射線特性がある時間に亘って変動する時、その補正を可能にする。

【0017】比率モードが有効に用いられるかどうかは、もし光の強度が空間的且つ時間的に変動する場合、サンプリング方法に左右される。従って、ビーム分割器またはピックアップ・ミラーを使用する時、基準検知器63向けにサンプリングされる放射線源58の区域は、室28bに対する放射線としての役目をするためにサンプリングされる放射線源58の区域にできるだけ密接に対応しなければならない。例えば図2aに示すバージョンでは、1対のファイバ69c、69dは、放射線源58の近くに放射線源から放射線を受けるために準備された一端71d、71eと、室28と基準検知器63とに各々放射線を伝達する他端71f、71gと共に示されている。ファイバのサンプリングは、ファイバ69c、69dの大きさが小さいため本質的な利点を持つ。もしファイバ69c、69dの大きさがサンプリングされる放射線源58の区域よりもはるかに大きい場合、1つは室28への信号ビーム用、1つは基準ビーム用の並列ファイバは、放射線源の変動を互いにうまく消し合わせるために、放射線源58の同じ区域をサンプリングすることができる。ファイバ69c、69dの各々の円錐形の視野73a、73bは、放射線源58から放射される放射線の空間的領域と実質的に重なり合う視野を持つように各々設置される。これにより、ファイバ69c、69dの両端71d、71eは、同じ放射線を見て、放射線源58から放射される放射線特性の空間的かつ時間的な変動を補償することが約束される。従って、もし放射線

特性の空間的変動、すなわち、放射線源58から放射された放射線区域に亘って起こる変動がある場合、このような配置は、両方のファイバ69c、69dが同じ変動を見て、それによりその変動の補償をすることを可能にする。

【0018】もし束を使用するためにファイバ69の区域が大きくなる場合、基準検知器63向けの放射線を集めるのに使用されるファイバは信号用の束に入れられて束内に均等に配分されるか、ファイバを数本しか使用しない場合には束の中央に配置することができる。例えば図2bに示すバージョンでは、2組のファイバ69g、69hは、間隔をあけて配置され、各々の組により見られる放射線が放射線源58の実質的に同じ大きさの区域からのものになるように配分されるが、その放射線は、放射線源58から放射される放射線フィールドの一部または全体であることが可能である。例えば、放射線源58から基準検知器63に放射線を伝達するファイバ69gには、円錐形の視野73c、73dが各々放射線源の放射線放射部分全体を覆うように、放射線源58から室28に放射線を伝達するファイバ69hを点在させることができる。重なり合う視野73c、73dを持つ複数のファイバにより覆われる放射線源58の区域が大きくなると、放射線の空間的変動が低減され、放射線源58のより大きい部分または区域から発する放射線信号を平均することが可能となる。また、ファイバ69g、69hの両方の組は、放射線源58の同じ区域を覆い、同じ放射線源変動を見ることが好ましく、これは、ファイバを点在させて同じ領域を覆う重なる視野を準備することにより達成される。

【0019】図2cに示すバージョンにおいては、放射線源58からの放射線をファイバ69の端部73上へ焦点を合わせるために、レンズ77（またはレンズ組立体、図示しない）が使用される。レンズ77は、ファイバ69の視野に合わせることができ、その結果、より多くの放射線がファイバに入射することができ、ファイバ69の端部73の区域が放射線源58の放射線放射区域よりもはるかに小さい時に特に有益である。また、ファイバ69の端部に一点集中する放射線源58の放射線区域が大きくなるために、放射線源58から放射される放射線の空間的変動の平均化効果が強まり、その結果、そのような変動の影響が更に低減される。代わりに、レンズ77は、放射線源の選択した領域からの光を、もしその領域がより安定してれば、連結するのに用いることができる。

【0020】図2dは、放射線源58は、室28内で放射線を出すプラズマでもあり得ることを単に示すものであり、そのような放射線源を使用すると、基板20からの反射放射線64と、同様に基板20から反射せずに室28内のプラズマから直接発せられる基準放射線62とを受けとるためにファイバ69e、69fは配置され

る。例えばファイバ 69 e は、基板 20 からの反射放射線 64 を直接試料検知器 62 に伝達するために配置され、また、ファイバ 69 f は、例えば室 28 内の壁 50 など他の領域に向けて配置されることにより、基板から反射しないプラズマの一部から放射線を基準検知器 63 a に伝達する。別の実施形態では、基準検知器 63 b はまた、プラズマから放射される放射線 62 b を受けるが、この放射線は、プラズマの側面から見られ（基板と相互作用しない）、プラズマの頂部からは見られない

（基板と相互作用する）。これらのバージョンでは、核種の放射電荷、プラズマ輝度の変動、又は他のそのような変動から生じるプラズマ強度の揺らぎは、その揺らぎを補正するために必要であり、基板 20 から反射されないプラズマ光を集めることにより検知される。

【0021】これらのバージョンにおいてファイバ 69 は、放射線経路が実質的に処理室 28 で終わる、又は、割り込むことはせず、且つ、移動部品に対して終わる、又は、割り込むことはせずに（放射線は移動しないフィルタを通過することができるが）ファイバに沿って基準検知器 63 に至るように、直接基準検知器 63 に通じることが好ましい。ファイバ 69 を経由するこのような直接接続の方が、外部光源からノイズを集める傾向が小さく、また、異なる種類の装置で構成しやすい。従って直接接続式のファイバ 69 は、移動部品（単色光分光器など）またはより複雑な部品（従来のビーム・スプリッタなど）のいずれかを利用するような、他の光伝達システムよりも有利である。しかしながら、ファイバ 69 は、検知器 63 に基準信号を伝達するために、半透過性ミラーなどのビーム・スプリッタ（図示しない）に置き換えることができる。ビーム・スプリッタでも働くと考えられるが、放射線源 58 から出ている放射線を直接検知器 63 に伝達するのに、ファイバ 69 を使用するのが一般的に好ましい。これは、従来のビーム・スプリッタの方が費用がかかり複雑である上に、追加の取付及び位置決定手段が必要だからである。また、従来のビーム・スプリッタは、一貫したプロファイルを持つ明確に範囲を定められた平行ビームには十分に働くが、放射線源 58 からの放射線の強度が空間的に変動する場合は、基準として働くビームの一部は、追加の光学機器及び類似な手段により選択されなければならない。

【0022】レンズ 66（または、レンズ組立体）は、放射線源 58 により放射された放射線を基板 20 上に焦点を合わせるために、及び／又は、基板 20 から少なくとも部分的に反射した放射線 64 を検知器 62 のセンサ上に焦点を合わせるために、随意的に使用される。例えば、室 28 の外部に位置する水銀放電灯を含む放射線源 58 については、図 1 に示すように、ランプから窓 61 を通過して基板 20 のビーム・スポット 70 上に入射する放射線の焦点を合わせるために、複数の凸レンズ 68 a、68 b を用いることができる。ビーム・スポット 7

0 の区域は、基板 20 の表面形状を正確に測定することができるほど十分に大きくなければならない。レンズ 68 a、68 b はまた、反射放射線 64 を放射線検知器 62 のセンサ上に再び焦点を合わせるために使用することができる。図 1 に示すように、干渉法には放射線が約 90 度の入射角で基板に当たる構成が好ましいが、従来技術で公知であるように、その他の入射角を使用することもでき、且つ、反射放射線を受けるための装置 26 を相応に配置することもできる。

【0023】位置決め器 72 は、ビーム・スポット 70 を「駐車する」ための基板 20 の適切な部分を見つけるため、基板表面に亘って入射放射線 60 を走査するために随意的に使用される。位置決め器 72 は、放射線源 58 からの放射線を基板表面の異なる位置（図示）に偏向させるためにわずかな角度で回転する 1 つ又はそれ以上の主鏡 74 を含む。代わりに、1 次ミラー 74 はまた、プラズマ放射から放射され基板 20 で少なくとも部分的に反射された放射線を、放射線検知器 62 上に再び向けることができる。追加の 2 次ミラー（図示しない）は、反射放射線を捕らえて放射線検知器 62 に再び焦点を合わせるために用いることができる。位置決め器 72 はまた、基板 20 に亘ってラスタ模様を描きながら放射線を走査するために使用することができる。このバージョンでは、位置決め装置 72 は更に、放射線源 58、レンズ組立体 66、及び、放射線検知器 62 が取り付けられる可動台（図示しない）を含む。可動台は、ステップ・モータなどの駆動機構により所定の間隔で動かすことができ、それにより走査するか、そうでなければ、基板 20 に亘ってビーム・スポット 70 を移動させる。

【0024】ランプまたはプラズマ放射スペクトルからの多色光などの複数の波長を持つ放射線は、放射線検知器 63、及び／又は、入射放射線 60、又は、反射放射線 64 の経路に単色光分光器 75 またはフィルタ 76 を置くことにより、単一または狭帯域の波長に低減することができる。単色光分光器またはフィルタ 76 は、レンズ組立体 66 内に配置することができるが、また室 28 の他の位置、例えば室窓 61 内、放射線検知器 62、63 の前、または放射線源 58 の前にも配置することができる。適切なフィルタは、目標とする波長を持つ放射線を選択的に伝達する透明なサポート上の薄いフィルムの積み重ね、または、目標とする波長を持つ放射線を選択的に透過させる材料から作られたレンズを含む。単色光分光器 75、76 はまた、不要な波長を持つ放射線を散乱させ目標とする波長を持つ放射線を通過させることができる回折間隔を持つような、回折格子を含むことができる。いくつかの実施形態では使用可能であるが、回転ディスク単色光分光器及び波長可変フィルタは、より複雑であるために好ましくない。簡易性と信頼性とを高めるために、単色光分光器またはフィルタは、可動部を持たない方が好ましい。他の適切なフィルタリングの手

段、例えば、部分的吸収物質内の長い路程を通る放射線の減衰、または、目標とする波長を持つ部分放射線だけに基づく電気信号を発生する放射線検知器62、63による選択的フィルタリングもまた、使用することが可能である。放射線源の放射線強度は、異なる波長において独立して変動することから、通常、試料及び基準放射線の両方について同じ波長を選択することが好ましい。

【0025】強度、位相、又は波長などの放射線特性は、放射線検知器62、63により測定されて電気信号に変換される。検知器62、63は、室28から放射されている反射放射線の第1特性と、放射線源58から放射されている放射線の第2特性とを検知することができる。第1及び第2の特性は異なる特性か、又は同じ特性であることが可能である。検知器62（試料信号）及び63（基準信号）からの電気信号は、信号解析器130に伝達されるが、信号解析器は、電気信号を電気的に処理または操作して、放射線が放射線源58から放射される時の放射線特性の揺らぎの影響を低減させる。信号解析器130及び信号監視ソフトウェア126は、解りやすいように図1では別個の部品として示すが、これらの部品は同じものであることが可能であり、通常コンピュータ114の一部である。

【0026】本発明の第1の実施形態では、信号解析器130は、放射線源58から放射される放射線の第2特性に関して反射放射線の第1特性を正規化する。「正規化する」とは、試料信号の測定された第1特性が基準信号の測定された第2特性により修正され、放射線源の揺らぎを考慮、又は補償した正規化された信号を引き出すことを意味する。従って正規化は、一方の信号の他方からの減算、除算、または、他の種類の数学的操作または比較、及び、これらの方法の組合せにより試料及び基準信号を修正することが関わってくる。半導体処理室、特にプラズマ室での使用に特に有利であることが分かった特別な信号正規化手順は、試料信号を基準信号で割ることにより正規化された試料信号を得る。正規化の除算処

$$X_{nt} = X_t / \{Y_0 + C(Y_t - Y_0)\} \quad (1)$$

ここで、Cは補正係数、Y₀は時刻0での基準信号、X_tは時刻tでの試料信号、及び、Y_tは時刻tでの基準信

$$C = \{(X_t - X_1) / X_1\} \{Y_0 / (Y_t - Y_0)\} \quad (2)$$

背景放射線を発生させる処理（プラズマ処理など）では、時刻1（すなわち、反射した放射線源信号が、その初期状態から大きく変化していない十分に早い時刻）で

$$X_1 = X_0 + B_1$$

背景放射線が一定であると仮定すると、全ての測定で、すなわち、t=2、3、等で、B_t=B₁である。大小の信号について検知器利得は一定であることから、(X

$$C = X_0 / X_1$$

システム解析器130は、式4を用いて自動的に補正係数Cを計算し、その補正係数を適用して、正規化試料信号を式1により計算することができる。別の実施形態で

理は、試料チャンネルと基準チャンネルとで利得突き合わせを必要としないので好ましい。通常の正規化段階においては、信号解析器130は、試料信号と基準信号とに対し数学的に操作し、次式で表される正規化された試料信号を求める。

$$X_n = X_t / Y_t$$

ここで、X_nは正規化された試料信号、X_tは時刻tでのオリジナル試料信号、及び、Y_tは同じ時刻tでの基準信号である。放射線源によるX_tの変動は、放射線源の基準Y_tにより打ち消される。

【0027】試料及び基準信号間の違いを生むその他の影響を考慮すれば、より一層正確でノイズの少ない信号を得ることができる。特に、もし処理環境に放射線源に属さない放射線（例えば、周囲光線）があれば、これを試料信号に加え、基準信号には加えない。更に放射線検知器は、光がない時にゼロ以外の信号を出すような暗電流を持つことが可能である。基準チャンネル内の迷光は制御することができ、検知器暗電流は、検知器の型及びオフセット電子装置を適切に選択して最小にすることができるので、通常、試料信号チャンネルの背景光線は、補償を必要とする支配的な要素である。外部の放射線源が使用され、対応する反射放射線が処理室内の事象を監視するのに使用されるような処理室28での処理の間、プラズマにより放射される放射線は、通常、主な背景放射線源である。従って、背景放射線の修正もまた、放射線源と背景放射線との揺らぎの影響を更に、低減させるために信号解析器130により適用することができる。信号解析器130は、以下の式（1）から（4）に示すように、背景揺らぎに対して補正された試料信号を求めるために試料信号を数学的に操作する。

【0028】最良の方法においては、信号解析器130は、試料信号と基準信号とに対して数学的に操作し、次式を用いて、放射線源揺らぎと周囲背景との両方について補正された正規化試料信号を求める。

号である。補正係数Cは次式により求められる。

得られる試料信号データ・ポイントは、次式で表される。

$$(3)$$

t-X₁)/(Y_t-Y₀)-X₀/Y₀を代入することができ、次式を得る。

$$(4)$$

は、式4よりむしろ式2を用いて補正係数を計算することができる。

【0029】エッチング処理で背景光線に対する補正を

用いる本発明の実施形態は、図 3 の流れ図を参照するとより理解できる。まず試料信号と基準信号との初期測定値は得られる。次にプラズマが点火される。プラズマが安定した後、しかし実質的なエッチングが行われる前に試料信号 X_1 は取得され、式 4 に従って補正係数 C を計算するのに用いられる。エッチング処理は、試料信号 X_e 及び基準信号 Y_e を測定することにより、時間の関数として監視される。信号解析器 130 は、正規化試料信号 X_{nt} を計算するために、式 1 にこれらの信号と補正係数とを入力する。このようにして、背景放射線と放射線源ランプの変動とがある場合でも、正確且つ信頼できるエッチング測定が達成される。正規化試料信号は、目標とするエッチング深さ（また別の見方によれば、層の厚さ）が得られるまで、信号解析器 130、及び／又は、コンピュータ 114 により連続的に監視される。これは、目標値、又は、干渉模様や固有な終点波形など目標とする模様のいずれかを得ることにより可能である。この時点で、信号解析器 130 またはコンピュータ 114 が信号を中継して処理制御装置に送ると、エッチング処理は停止される。すなわち、基板上または基板自体の中に沈着された目標とする寸法または層厚を持つエッチング形態は、正確且つ確実に得られる。処理は、監視インタフェース 118 を介して人間により監視及び制御することができ、又は、自動化システム 110 により全面的に制御することもできる。

【0030】本発明の別のバージョンでは、放射線源 58 の不安定性は、放射線源により放射される放射線を監視し、放射線源からの放射線出力のいかなる揺らぎや不安定性も調節するために放射線源 58 への電力を制御するような従来の閉ループ・フィードバック回路を含むフィードバック制御装置 87 を使用することにより対処される。例えば図 6 及び図 7 は、正規化モードの代わりにフィードバック制御法を用い、一定光線出力を達成する 2 つの方法を示す。いずれの方法も、放射線源 58 からの放射線出力または他の特性を、直接的に、又は、本出願で説明されるビーム・スプリッタまたはファイバ 69 を用いるかのいずれかにより検知する基準検知器 63 を使用する。図 6 に示すバージョンでは、基準検知器 63 は、差分（誤差）増幅器 79 にフィードバックとして基準信号を送り、放射線源 58 に電力を与えるプログラム式電源 81 を制御する。基準信号が目標とするレベルまたは一定レベルから外れると、フィードバック制御装置 87 により発生される誤差信号は、電源 81 に対し、誤差を低減させる方向で修正するように、つまり、放射線源を制御された平坦な出力レベルに維持するべく努めるように指示を出す。

【0031】図 7 は、処理室 28 に伝達された放射線出力の経路において放射線変調器 83 を制御するために基準検知器 63 が使用されるようなフィードバック制御装置 87 の別のバージョンを示す。放射線変調器 83 は、

それを通過する放射線の特性を修正するか、そうでなければ、変える装置である。例えば放射線強度は、低質量機械式シャッター、ミラー、又は、放射線を部分的に減衰するための手段として、放射線源 58 からの放射線強度レベルを阻止、フィルタリング、またそうでなければ、低減するために移動する可変密度スクリーンを含む放射線変調器 83 により制御することができる。放射線変調器 83 はまた、より高い周波数で作動する電気光学変換器または音響光学変換器を含むことができる。レンズ及び回折格子または可動ミラーなど、他の部品を組み込んだ他の放射線変調器 83 もまた使用することができる。

【0032】フィードバック制御装置 87 は、放射線源揺らぎを低減する上で効果的であるが、正規化の方法に比べていくつかの不利な点を持つ可能性がある。例えばフィードバック法は、放射線源揺らぎを確実に制御することができるように、公称放射線出力を最大達成レベルより低いレベルに制限する必要がある。正規化の方法はまた、SN 比を強化するためにできるだけ多くの放射線出力を必要とする用途に対して好ましい。他の検討事項は、柔軟性と目標とするダイナミック・レンジとに関する。例えば、ランプなどの放射線源 58 は古くなるとその出力は時と共に減少するが、フィードバック法は限られた範囲でしか修正することができないのに対し、正規化の方法は範囲全体に亘って修正できる。更に正規化の方法は、背景放射線または他の影響に対する補償のためにも使用されるので、制約がより少ない。

【0033】（制御装置とコンピュータ・システム）室及び終点検知システム 56 は、コンピュータ・システムのコンピュータ読取可能プログラム 112 のソフトウェアを実行する室制御装置 110 により作動するが、コンピュータ・システムは、メモリ 116 及び周辺コンピュータ部品に連結される、例えばカルフォルニア州のシナジー・マイクロシステムズ社から市販されている 68040 マイクロプロセッサ、又は、カルフォルニア州サンタクララのインテル・コーポレーション社から市販されているペンティアムプロセッサなどの中央処理装置（CPU）114 を含む。メモリ 116 は、コンピュータ読取可能媒体を含み、その媒体は、それに組み込まれるコンピュータ読取可能プログラムを持つ。メモリ 116 は、ハード・ディスク装置 122 が好ましいが、メモリはまた、ランダム・アクセス・メモリ（図示しない）など他の種類のメモリでも可能である。メモリ 116 に加えて、制御装置 110 は、フロッピー・ディスク装置 122 とカード・ラックとを含むことができる。オペレータと制御装置 110 との間のインタフェースは、図 1 に示すように、例えばモニタ 118 とライトペン 120 とを介するものが可能である。ライトペン 120 は、モニタ 118 により放射された光をライトペン 120 の先端にある光センサで検知する。特定の画面または機能を選択

するには、オペレータは、モニタ 118 の画面の指定された区域に触れ、ライトペン 120 のボタンを押す。通常、触れた区域は色が変わるか、又は新しいメニューが表示され、ユーザと制御装置 110 との間の会話を確認する。最良の実施形態では、2 つのモニタ 118 と 2 つのライトペン 120 とが使用され、1 つはオペレータ用にクリーンルームに取り付けられ、もう 1 つは、サービス技術者用に壁の背後に取り付けられる。両方のモニタ 118 は、同時に同じ情報を表示するが、ライトペン 120 は 1 つだけが有効である。

【0034】制御装置 110 を作動させるのに、例えばフロッピー・ディスクまたはディスク駆動機構 122 や他の適当な駆動機構に挿入される他のコンピュータ・プログラム製品などを含む、その他のメモリに記憶されるような他のコンピュータ読取可能プログラムも用いることができる。コンピュータ・システムのカード・ラックは、単一基板コンピュータ、アナログ及びデジタル入出力基板、インタフェース基板、及び、ステップ・モーター制御装置基板を含む。装置 26 の各種の部品は、基板、カード・ケージ、及び、コネクタ寸法・型式を定めるバーサ・モジュラ・ヨーロッパ (VME) 規格に適合する。VME 規格はまた、16 ビットのデータ・バス、及び 24 ビットのアドレス・バスを持つバス構造を定める。

【0035】一般にコンピュータ・プログラム 112 は、室 28 及びその部品、信号監視ソフトウェア 126、安全システム・ソフトウェア、及び、他の制御ソフトウェアを作動させるための 1 組のプログラム・コード命令を持つ処理制御ソフトウェア 124 を含む。コンピュータ読取可能プログラムは、アセンブリ言語、C、C++、パスカル、又は、フォートランなど、従来のいかなるコンピュータ読取可能プログラミング言語でも書くことができる。適当なプログラム・コードは、従来のテキスト・エディタを用いて単一ファイル、又は複数ファイルに入力され、コンピュータ・システムのメモリ 116 のコンピュータ使用可能媒体に記憶されるか、又は組み込まれる。入力されたコードテキストが高級言語による場合、コードはコンパイルされ、次に得られたコンパイラ・コードが事前コンパイル・ライブラリ・ルーチンの目的コードに連係される。連係されたコンパイル後の目的コードを実行するには、ユーザは目的コードを呼び出し、CPU 114 にコードを読み取って実行させ、プログラムで指定されたタスクを行わせる。

【0036】基板 20 をエッチングし、随意的に室 28 を洗浄する処理は、処理制御ソフトウェア 124 を用いて、処理制御装置 128 により実行される。処理制御ソフトウェア 124 は、特定の処理のタイミング、ガス組成、ガス流量、室の圧力、室の温度、RF 電力レベル、サポートの位置、加熱器温度、及び、他のパラメータを命ずる命令のセットを含む。図 5 は、特定の実施形態に

よる処理制御ソフトウェア 124 の階層的な制御構造を説明するブロック図である。ユーザは、ライトペン・インタフェースを用いて、CRT 端末に表示されたメニューまたは画面に応答して処理選択命令セット 132 に処理セット番号と処理室番号とを入力する。処理セットは、指定された処理の実行に必要な予め決められた処理パラメータのグループであり、所定のセット番号により特定される。処理選択命令セット 132 により、(i) 目標とする処理室 28、及び (i i) 目標とする処理を実行するための処理室の操作に必要な目標とする処理パラメータのセットが特定される。特定の処理を実行するための処理パラメータは、例えば、ガス組成、ガス流量、温度、圧力、RF 電力レベル (加えて、遠隔マイクロ波プラズマ・システムを備えた実施形態に対するマイクロ波発生器の電力レベル) などのプラズマ条件、冷却ガス圧力、及び、室壁温度など、無制限に、処理条件に関する。処理選択命令セット 132 は、室内のある時間にどの種類の処理 (エッチング、沈着、ウェーハ洗浄、室の洗浄、室のゲッタリング、リフローすること) を実行するかを制御する。いくつかの実施形態においては、2 つ以上の処理選択命令セット 132 が可能である。処理パラメータは、レシピの形でユーザに準備され、ライトペン及び監視インタフェースを利用して入力することができる。

【0037】処理シーケンサ命令セット 134 は、処理選択命令セット 132 からの指定処理室 28 と処理パラメータセットとを受け入れて様々な処理室の作動を制御するためのプログラム・コードを含む。複数のユーザが処理セット番号及び処理室番号を入力することができるか、又は、1 人のユーザが複数の処理セット番号及び処理室番号を入れることができ、それにより、シーケンサ命令セット 134 は、目標とするシーケンスにより選択された処理を予定に入れるために作動する。シーケンサ命令セット 134 は、(i) 室が使用されているか判断するために処理室 28 の作動を監視する段階、(i i) 使用している室でどんな処理が実行されているのか判断する段階、及び、(i i i) 処理室 28 が利用できるかどうか及び実効される処理の種類に基づいて目標とする処理を実行する段階、を行うためのプログラム・コードを含むことが好ましい。ポーリングなど、処理室 28 を監視する従来の方法も使用できる。どの処理を実行するか予定を組む時、シーケンサ命令セット 134 は、選択された処理の目標とする処理条件、又はユーザが入力した特定な要求の各々の「年齢」、又はシステム・プログラムが実行予定の優先順位を決定する上で含めたいと思ういかなる他の関連要素と比較しながら、使用中の処理室 28 の現在の条件を考慮して設計することができる。

【0038】一旦シーケンサ命令セット 134 が次にどの処理室 28 と処理セットの組合せを実行するか決定す

ると、シーケンサ命令セット134は、シーケンサ命令セット134により決定された処理セットに従って処理室28内での複数の処理タスクを制御する室管理命令セット136に、特定の処理セットパラメータを送ることにより処理セットの実行を開始する。例えば、室管理命令セット136は、処理室28でのエッチングまたは沈着作動を制御するためのプログラム・コードを含む。室管理命令セット136はまた、選択された処理セットの実行に必要な室の部品の作動を制御する様々な室部品命令セットの実行を制御する。室部品命令セットの例は、基板位置決め命令セット、ガス流量制御命令セット140、ガス圧制御命令セット142、サポートに加熱器を備えた室のための随意加熱器用制御命令セット144、及び、プラズマ制御命令セット146である。室28の特定な構成によりは、上記の命令セットの全てを備えた実施形態もあれば、命令セットのいくつかしか備えない実施形態もある。当業者は、処理室28でどのような処理が実施されるかにより、その他の室制御命令セットも含めることができることを容易に理解するであろう。

【0039】作動面においては、室管理命令セット136は、実行されている特定の処理セットに従って処理部品命令セットを選択的に予定に入れるか、又は呼び出す。室管理命令セット136は、シーケンサ命令セットが次にどの処理室28と処理セットを実行するか予定するのと同様に、処理部品命令セットを予定する。通常、室管理命令セット136は、様々な室部品を監視する段階と、実行される処理セットのための処理パラメータに基づいてどの部品を作動させる必要があるか判断する段階と、監視及び測定段階に回答して室部品命令セットの実行を開始する段階とを含む。

【0040】室部品命令セットの操作について以下に説明される。基板位置決め命令セット138は、基板20をサポート32上に装着するため、及び、随意的であるが、室28の目標とする高さに基板20を持ち上げて、基板20とガス搬送システム34のガス出口38との間の間隔を制御するため、に使用される室部品を制御するためのプログラム・コードを含む。処理ガス制御命令セット140は、処理ガスの異なった成分の流量を制御するためのプログラム・コードに持つ。処理ガス制御命令セット140は、安全遮断弁の開閉位置を制御し、また、目標とするガス流量を得るために質量流量制御装置を立ち上げたり終了させたりする。処理ガス制御命令セット140は、全ての室部品命令セットと同じように、室管理命令セット136により呼び出され、室管理136から目標とするガス流量に関係する処理パラメータを受け取る。通常、処理ガス制御命令セット140は、ガス供給装置を開き、更に、(i)必要な質量流量制御装置を読み込む段階、(ii)読取値を室管理命令セット136から受け取った目標とする流量と比較する段階、及び、(iii)必要に応じてガス供給ラインの流量を

調節する段階を繰り返すことにより作動する。処理ガス制御命令セット140は更に、危険流量に備えてガス流量を監視する段階と、危険状態が検知された時に安全遮断弁を作動させる段階とを含む。処理ガス制御命令セット140はまた、選択された目標とする処理（エッチング、洗浄又は蒸着又はその他）により異なるが、蒸着ガスのエッチングのためと同様に、洗浄ガスのためにガス組成及び流量を制御する。別の実施形態においては、2つ以上の処理ガス制御命令セット140を持つことが可能であり、各々は、特定の種類の処理、又はガス流量制御装置の特定のセットを制御する。

【0041】いくつかの処理では、反応処理ガスが導入される前に、室の圧力を安定させるために窒素やアルゴンなどの不活性ガスが室28に流し込まれる。これらの処理については、処理ガス制御命令セット140は、室の圧力の安定に必要な時間だけ室28に不活性ガスを流し込む段階を含むようにプログラムされて、その後、前述の段階が実行される。更に、処理ガスが液体先駆物質から蒸発する時、例えばTEOS派生ガラスの蒸着において、処理ガス制御命令セット140は、バブラー組立体内の液体先駆物質を介してヘリウムなどの搬送ガスを泡立てる段階、又は、液体注入システムにヘリウムなどの搬送ガスを導入する段階を含むように書き込まれる。この種の処理にバブラーを使用する時、処理ガス制御命令セット140は、目標とする処理ガス流量を得るために、搬送ガスの流量、バブラー内圧力、及び、バブラー温度を調節する。前記の通り、目標とする処理ガス流量は、処理パラメータとして処理ガス制御命令セット140に伝達される。更に処理ガス制御命令セット140は、任意の処理ガス流量に対する必要な数値を包含する、メモリに記憶された表にアクセスすることにより、目標とする処理ガス流量に対する必要な搬送ガス流量、バブラー圧力、及び、バブラー温度を得る段階を含む。必要な値が一旦得られると、搬送ガス流量、バブラー圧力、及び、バブラー温度は監視され、必要な値と比較されて相応に調節される。圧力制御命令セット142は、室の排気システム42の絞り弁44の開口部の大きさを調節することにより室28の圧力を制御するプログラム・コードを含む。絞り弁44の開口部の大きさは、総処理ガス流量、室28の大きさ、及び、排気システム42のポンピング設定圧力に対して、室圧力を目標とするレベルに制御するように設定される。圧力制御命令セット142が呼び出されると、必要な、つまり、目標圧力レベルが室管理命令セット136からパラメータとして受け取られる。圧力制御命令セット142は、室28に接続された1つ又はそれ以上の従来の圧力計の数値を読み取ることにより室28の圧力を測定し、目標圧力と測定値とを比較し、記憶された圧力表から目標圧力に相当するPID（比例、積分、及び、微分）値を得て、圧力表から得られたPID値に従って絞り弁44を調節する。

代わりに、圧力制御命令セット142は、室28のポンピング能力を目標とするレベルに調節するために、絞り弁44を特定の開口部の大きさに開く、又は閉じるように書き込まれる。

【0042】随意的であるが、加熱器制御命令セット144は、サポート32及び基板20を抵抗的に加熱するのに使用される随意的の加熱部品（図示しない）の温度を制御するためのプログラム・コードを含む。加熱器制御命令セット144はまた、室管理命令セット136により呼び出され、目標値、設定値、又は、温度パラメータを受け取る。加熱器制御命令セット144は、サポートに設置された熱電対の電圧出力を測定することにより温度を測定し、設定温度と測定温度とを比較し、そして設定温度に調節するために加熱ユニットに加えられる電流を増減する。温度は、測定電圧から、記憶された換算表で対応する温度を調べるか、又は、4次多項式を用いて温度を計算することにより得られる。サポートを加熱するのに埋め込みループを使用する時、加熱器制御命令セット144は、ループに加えられる電流の立ち上げと降下とを徐々に制御する。更に、処理安全コンプライアンスを検知するため、及び、処理室28が適切に設定されていない場合に加熱ユニットの作動を停止するために、組み込みのフェールセーフ・モードを含めることができる。

【0043】プラズマ制御命令セット146は、室28の処理電極50、52に加えられる低周波数及び高周波数FR電力レベルを設定するためのプログラム・コードを含む。前述の室部品命令セットと同様に、プラズマ制御命令セット146は、室管理命令セット136により呼び出される。遠隔プラズマ発生器46を持つ実施形態においては、プラズマ制御命令セット146は、遠隔プラズマ発生器（図示しない）を制御するためのプログラム・コードも含む。終点検知命令セット148は、プログラム・コードを含み、そのプログラム・コードは、信号解析器から試料信号と基準信号とを得て、反射放射線の特性、それは強度、位相、又は、波長のうち1つ又はそれ以上を含む、を放射線源58から出る放射線の特性に関して正規化する。正規化の方法、すなわち、2つの信号特性の除算、減算、又は、乗算は、コンピュータ・ソフトウェアに予めプログラムされる。それに加えて背景放射線を求めるための補償係数もプログラム・コードとして書き込まれる。更に、終点検知命令セット148は、正規化試料信号の所定の評価方法に基づいた基板20で実施されている処理の終点検知の段階、及び、命令を室管理命令セット136または他の命令セットに送り、処理または他の室条件を変更する段階、などの他の機能を行なうためのプログラム・コードを含む。

【0044】（実施例）以下の実施例は、操作と本発明を用いて得られる最良の結果とを示す。使用される装置は、本質的には図1に示すものであり、カリフォルニア

州サンタクララのアブライド・マテリアルズ社から市販されているモデルSi ETCH DPSである。空のシリコン・ウェーハは、処理室内に装着されている。次いで放射線源水銀放電灯や試料及び基準検知器の電源が投入される。放射線源水銀放電灯は、カリフォルニア州アービンのジェライト・カンパニー社から市販されているモデルCPG-1であり、試料及び基準検知器は、光電子増倍管（ハママツのモデルR728）である。光学帯域フィルタ、又は単色光分光器のいずれかは、約254ナノメートルの水銀発光を選択するために用いられた。更に放射線伝達ファイバは、光線をランプから基準検知器と処理室とに、更に、処理室から試料検知器に伝達するために用いられた。そして、プラズマを点火する前に、試料信号（X₀）及び基準信号（Y₀）は取得された。

【0045】プラズマは、室の中に導入されたSF₆を含む処理ガスに対して600ワットの電力で点火された。また、基準信号（Y）及び試料信号（X）を同時に取得するのに2台の検知器が使用された。信号は、信号解析コンピュータ、すなわち、カリフォルニア州サンタクララのアブライド・マテリアルズ社から市販されているセンチュラ・エンドポイント・コンピュータに送信された。次にコンピュータは、式 $C = X_0 / X_1$ から補正係数を計算し、式 $X_{nt} = X_t / \{Y_0 + C(Y_t - Y_0)\}$ から補正された試料信号を計算した。図4に10秒から20秒までの信号のプロットを示すが、ここでトレースaは試料信号、トレースbは基準信号、そしてトレースcは補正された信号である。

【0046】この実施例において本発明の装置及び方法（背景補正なし）は、試料信号のSN比に関して10倍（1000%）の改善を達成した。また、本発明の装置及び方法（背景補正あり、信号c）は、試料信号のSN比に関して40倍（4000%）の改善を達成した。空のウェーハがこの実験で使用されたので、図4の信号cは、特徴がなく滑らかである。実際の使用法においては、エッチングされるウェーハは、時間で変動する信号を発生するであろうが、本発明により、それは振幅が小さいながらも容易に検知することができる。

【0047】本発明は、典型的なプラズマ・エッチング処理によって説明されたが、他のバージョンも可能である。例えば、当業者には明らかであろうが、監視処理及び装置は、他の処理にも用いられ、且つ、非制限的に、スパッタリング室、イオン注入室、及び、他の蒸着室を含むような他の室内においても使用することができる。従って、本発明の請求項の精神及び範囲は、本出願に記載の最良のバージョンに制限されるべきではない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理に従った基板処理装置の概略断面図である。

【図2a】放射線源または基準放射線を受けるためのフ

ファイバ束の異なる配置を示す概略図である。

【図 2 b】放射線源または基準放射線を受けるためのファイバ束の異なる配置を示す概略図である。

【図 2 c】放射線源または基準放射線を受けるためのファイバ束の異なる配置を示す概略図である。

【図 2 d】放射線源または基準放射線を受けるためのファイバ束の異なる配置を示す概略図である。

【図 3】図 1 の装置内の基板のエッチングを監視する処理の流れ図である。

【図 4】試料信号 (a)、対応する基準信号 (b)、及び、放射線源と背景放射線との揺らぎに対して補正した後の正規化された試料信号 (c) の強度と時間との関係を示すグラフである。

【図 5】本発明によるコンピュータ読取可能プログラムの、処理制御用ソフトウェアの階層構造を示すブロック図である。

【図 6】放射線源揺らぎに対するフィードバック・ループ回路による補償に適する装置の概略図である。

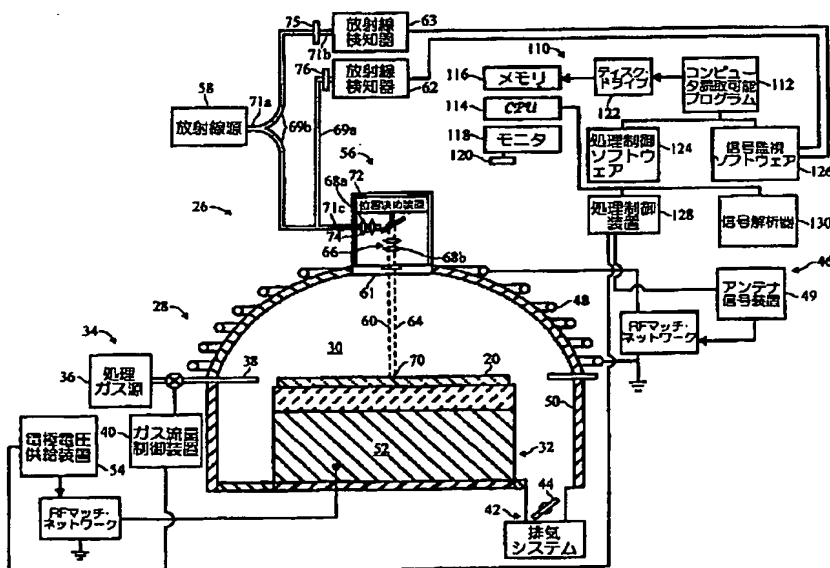
【図 7】放射線源揺らぎに対するフィードバック・ループ回路による補償に適した装置の概略図である。

【符号の説明】

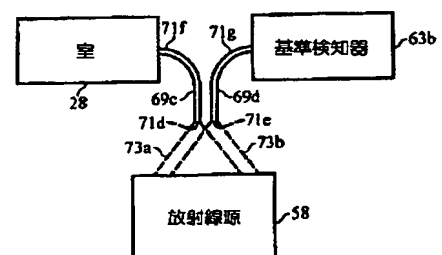
20 基板
26 エッチング装置
28 処理室
30 処理区域

32 サポート
34 ガス搬送システム
36 処理ガス源
38 ガス出口
40 ガス流量制御装置
46 プラズマ発生器
49 アンテナ電源装置
50 第 1 電極
52 第 2 電極
54 電極電圧供給装置
58 放射線源
62 放射線検知器
63 放射線検知器
72 位置決め装置
110 自動化システム
112 コンピュータ読取可能プログラム
114 中央処理装置
116 メモリ
118 モニタ
122 ディスク・ドライブ
124 処理制御ソフトウェア
126 信号監視ソフトウェア
128 処理制御装置
130 信号解析器

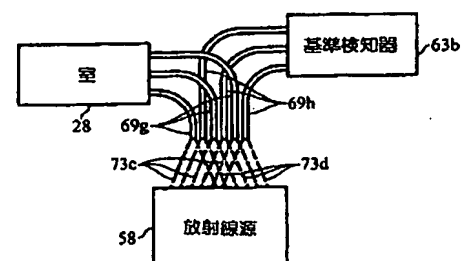
【図 1】



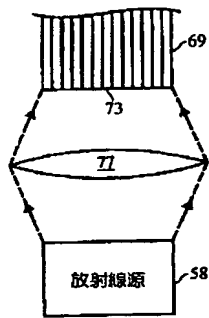
【図 2 a】



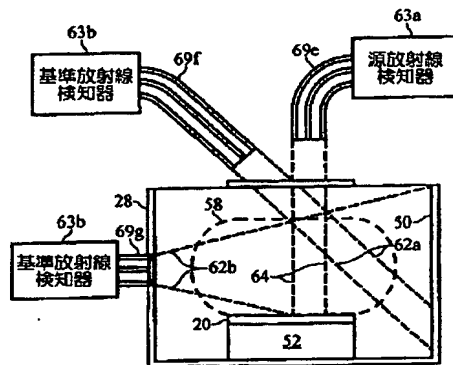
【図 2 b】



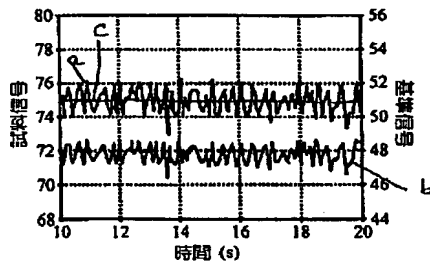
【図 2 c】



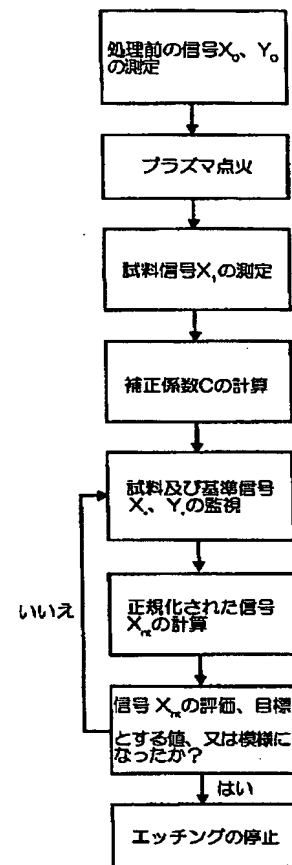
【図 2 d】



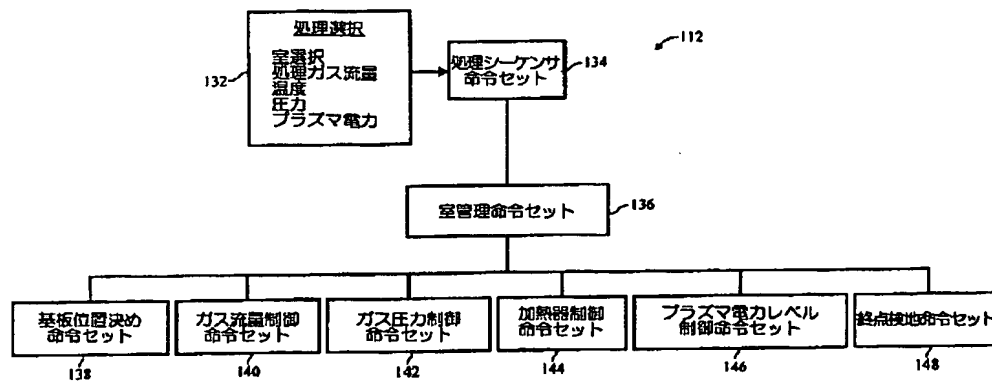
【図 4】



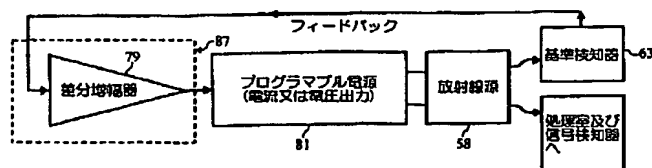
【図 3】



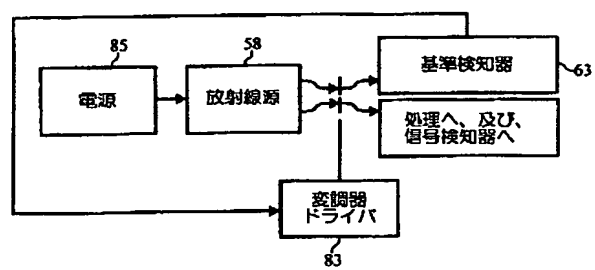
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【外国語明細書】

MONITORING A PROCESS AND
COMPENSATING FOR RADIATION SOURCE FLUCTUATIONS

BACKGROUND

The present invention relates to monitoring of a substrate fabrication process.

In the fabrication of electronic devices, semiconductor, dielectric and conductor materials, such as for example, polysilicon, silicon dioxide, and metal containing layers, are deposited on a substrate and etched to form features such as patterns of gates, vias, contact holes and interconnect lines. These features are typically formed by chemical vapor deposition (CVD), physical vapor deposition (PVD), oxidation and etching processes. For example, in a typical etching process, a patterned mask of photoresist or oxide hard mask is formed on a substrate by photolithographic methods and exposed portions of the substrate are etched by a plasma. In a typical CVD process, a plasma of a gas is decomposed to deposit a layer on the substrate. In PVD processes, a target facing the substrate is sputtered to deposit the target material onto the substrate.

In such processes, it is often necessary to monitor events within the process chamber, including process conditions such as pressure, temperature, deposition on chamber sidewalls, and especially substrate characteristics such as etch depth, layer thickness and composition. For example, in deposition processes, it may be desirable to change process conditions to change the nature of the film being deposited on the substrate or to stop deposition after a desired film thickness has been obtained. In etching processes, it may be desirable to stop etching of a particular layer (for example, a gate oxide layer) at a specified thickness. Techniques to monitor substrate characteristics involve providing radiation in the process chamber to interact with the substrate and/or a plasma and detecting the radiation emanating from the chamber. Chamber conditions such as the thickness of deposits formed on chamber walls, can also be monitored by directing the radiation onto the chamber wall and measuring the reflected radiation.

Examples of these monitoring techniques include interferometry and ellipsometry. In interferometry, a light beam directed onto a layer on a substrate is partially reflected from the surface of the layer, and partially transmitted through the layer and reflected by one or more underlayers. Constructive and destructive interference of the multiple reflections give rise to an interference pattern which undergoes periodic maxima and minima depending upon the path length of the radiation through the thickness of the layer being processed on the substrate. Before processing of the substrate, an initial thickness of the layer is assumed or measured. During processing, the observed periodic maxima and minima of a measured interference pattern are directly correlated to a calculated reduction in thickness of the layer (which would result in a changing pathlength of the radiation transmitted through the layer being processed) to estimate an endpoint of the process. Examples of interferometric apparatus and techniques are described in U.S. Patent Nos. 4,776,695, 5,691,540, 4,680,084, 4,840,487, and 5,087,121 - all of which are incorporated herein by reference. As another example, in ellipsometry, a polarized light beam is reflected from a layer being processed on a substrate and analyzed to determine changes in the phase and magnitude of the reflected light beam that occur as the layer is being processed, as for example as disclosed in U.S. Patent Nos. 3,874,797 and 3,824,017, both of which are incorporated herein by reference.

In the processing of sub-micron sized features, the magnitude of the radiation signal used to monitor the processing of features on the substrate becomes proportionately smaller as the size of the features becomes smaller. As a result, the signal-to-noise ratio of the monitored signal is significantly reduced and any fluctuations of the light sources from which the radiation signals originate, play a larger role in reducing the radiation signal being monitored. In prior art processes, the small levels of the source fluctuations were not a significant problem because process-induced changes in the reflected radiation had a relatively large magnitude. However, as the size of the etched features or the thickness of the etched and deposited layers becomes smaller, the magnitude of the reflected radiation change is also smaller, and previously undetectable signal fluctuations now reduce the signal to noise ratio to unacceptably low levels.

3

In addition, radiation generated from the plasma may also interfere with the radiation signal that is being monitored during the process, which further reduces the signal to noise ratio of the monitored radiation signal. When an external radiation source is used as the source of the radiation, the background radiation from the plasma interferes with, or dominates, the radiation measurements that are being monitored, especially where the radiation being measured has wavelengths similar to the radiation emitted by the plasma. This overlap of wavelengths occurs, for example, where a mercury lamp is used as the radiation source, and a silicon dioxide or other dielectric layer is being etched with a plasma containing fluorine or argon. In these cases, it is desirable to reduce the effect of the fluctuations of background and the source radiation.

Thus, it is desirable to accurately monitor radiation signals during the plasma processing of a substrate in a process chamber. It is further desirable to reduce signal fluctuations that occur during processing and improve the signal-to-noise ratio of the radiation measurements. It is also desirable to have a process chamber and monitoring system that may be easily adapted to existing apparatus.

SUMMARY

These needs are satisfied by the present invention. In one aspect, the invention provides a substrate processing apparatus comprising a process chamber, a radiation source capable of providing radiation in the chamber; one or more detectors to detect a first radiation from the chamber and a second radiation from the radiation source; and a signal analyzer to normalize a property of the first radiation relative to a property of the second radiation.

In another aspect, a method for monitoring processing of a substrate in a chamber comprises the steps of providing radiation in the chamber, detecting the radiation after it interacts with the substrate being processed, and generating a sample signal detecting a reference radiation that does not interact with the substrate and generating an reference signal; and normalizing the sample signal relative to the reference signal.

In a further aspect, a substrate processing apparatus comprises a chamber capable of processing a substrate. The chamber comprises a radiation source. A detector is provided to detect a reflected radiation from the chamber and to generate a sample signal. A signal analyzer is adapted to receive the sample signal and to determine a corrected sample signal, X_{nt} , using the expression $X_{nt} = X_t / \{Y_0 + C(Y_t - Y_0)\}$, where C is the correction factor, Y_0 is the reference signal at time 0, X_t is the sample signal at time t , and Y_t is the reference signal at time t .

In another aspect, a substrate processing apparatus comprises a chamber capable of processing a substrate. The chamber comprises a radiation source. A sample detector is provided to detect a reflected radiation from the chamber and to generate a sample signal. A reference detector is provided to detect a reference radiation from the radiation source and generate a reference signal and one or more first fibers are provided to transmit the reference radiation to the reference detector.

In yet another aspect, a substrate processing apparatus comprising a chamber capable of processing a substrate. The chamber comprises a radiation source that includes a plasma; a sample detector to detect a reflected radiation from a substrate in the chamber and generate a sample signal; a reference detector to detect a reference radiation from the plasma and generate a reference signal; and one or more first fibers to transmit the reference radiation to the reference detector.

In another aspect, a substrate processing apparatus comprises a chamber having a radiation source; a detector to detect a property of a radiation from a radiation source; and a feedback controller to regulate a power level of the radiation source in relation to the detected property of the radiation.

In another aspect, a substrate processing apparatus comprises a chamber; a radiation source; a detector to detect a property of a radiation from a radiation source and generate a reference signal; and a radiation modulator in a path of a radiation being transmitted from the radiation source to the chamber, whereby the radiation modulator may receive a signal from the radiation source and control a property of the radiation in relation to the reference signal.

In a further another aspect, a method for monitoring processing of a substrate in a chamber comprises the steps of providing radiation in the chamber; detecting a reference radiation that does not interact with the substrate and generating an reference signal; and controlling a property of the radiation in relation to the reference signal.

DRAWINGS

These and other features, aspects, and advantages of the present invention will be better understood from the following drawings, description and appended claims, which illustrate examples of the invention. While the description and drawings below illustrate exemplary features of the invention, it is to be understood that each of the features can be used in the invention in general, not merely in the context of the particular drawing, and the invention includes any combination of these features.

Figure 1 is a schematic sectional view of a substrate processing apparatus according to the principles of the present invention;

Figures 2a to 2d are schematic diagrams showing different arrangements of fiber bundles for receiving source or reference radiation;

Figure 3 is a flowchart of a process for monitoring etching of a substrate in the apparatus of Figure 1;

Figure 4 is a graph of the intensities versus time of a sample signal (a), the corresponding reference signal (b), and the normalized sample signal after correcting for fluctuations in source and background radiation (c);

Figure 5 is an illustrative block diagram of a hierarchical structure of a process control software of a computer-readable program according to the present invention; and

Figures 6 and 7 are schematic diagrams of an apparatus suitable for compensating for source fluctuations by a feedback loop circuitry.

DESCRIPTION

The present invention is useful for monitoring events in an apparatus via a radiation measuring technique such as for example, reflectance/absorbance, interferometry, ellipsometry and photoluminescence. The events are process characteristics that include for example, process conditions such as pressure, temperature, deposition on chamber sidewalls; and substrate properties such as etch depth, layer thickness, trench depth and composition. The invention is particularly useful for endpoint detection and reflectivity-based processes, such as interferometry, that are conducting during plasma etching or deposition processes. For example, a substrate 20 may be etched in the etching apparatus 26 that is illustrated in Figure 1, and the etching process being conducted on the substrate 20 may be monitored by the present invention. Typically, the substrate 20 comprises a support, such as a wafer of silicon or a compound semiconductor, or a dielectric such as silicon dioxide, and the substrate 20 may have thereon a plurality of layers, such as for example, include dielectric, semiconducting, and metal-containing conductor layers. Generally, the apparatus 26 comprises a process chamber 28 having a process zone 30 for processing the substrate 20 and a support 32 that supports the substrate 20. Process gas is introduced into the chamber 28 through a gas delivery system 34 comprising a process gas supply 36, gas outlets 38 located around the periphery of the substrate 20 (as shown) or in a showerhead mounted on the ceiling of the chamber (not shown), and a gas flow controller 40 adapted to control the flow rate of the process gas. Spent process gas and etchant byproducts are exhausted from the chamber 28 through an exhaust 42 comprising roughing and turbomolecular pumps (not shown) and a throttle valve 44 is used to control the pressure of process gas in the chamber 28. An energized gas or plasma is generated from the process gas by a plasma generator 46 that couples RF or microwave energy to the process gas in the process zone 30 of the chamber 28, such as for example, an inductor antenna 48 comprising one or more coils powered by an antenna power supply 49 that inductively couple RF energy to the chamber. In addition, a first process electrode 50 - such as an electrically grounded ceiling or sidewall of the chamber 28, and a second electrode

52 – such as an RF biased support 32 below the substrate 20, can be used to further energize the gas in the chamber 28. The first and second electrodes 50, 52 are electrically biased relative to one another by an RF voltage provided by an electrode voltage supply 54. The frequency of the RF voltage applied to the inductor antenna 48 and the electrodes 50, 52 is typically from about 50 KHz to about 60 MHz and more typically about 13.56 MHz.

The apparatus also comprises a radiation source 58 that may be outside or inside the chamber to provide a source of radiation in the chamber 28. The radiation source 58 may comprise, for example, an emission from a plasma generated inside the chamber 28, the plasma emission being generally multispectral, i.e., providing radiation having multiple wavelengths extending across a spectrum. The radiation source 58 may also be positioned outside the chamber 28 so that radiation 60 is passed from the source 58 through a window 61 and into the chamber 28. The radiation source 58 may provide radiation such as ultraviolet (UV), visible or infrared radiation; or may provide other types of radiation such as X-rays. In one version, the radiation source 58 provides radiation having only a predominant wavelength, such as a monochromatic light having primarily radiation at a single or a few wavelengths, for example, a He-Ne or Nd-YAG laser. Alternatively, the radiation source 58 may provide multiple wavelengths of radiation, such as polychromatic light, which may be selectively filtered to provide substantially only a single wavelength. Suitable radiation sources 58 for providing polychromatic light include Hg discharge lamps that generate a polychromatic spectrum of light having wavelengths in the range of from about 180 to about 600 nanometers, arc lamps such as xenon or Hg-Xe lamps and tungsten-halogen lamps; and light emitting diodes (LED).

During process monitoring, it has been discovered that instabilities of the properties or other characteristics of the radiation emitted from the radiation source 58 can significantly reduce the signal to noise ratio of the monitored or detected radiation. These instabilities may be in the form of changes in the intensity, wavelength or phase of the radiation. For example, UV lamps have been found to exhibit substantial intensity instabilities of emitted UV radiation during the time it takes to fully process a substrate. From a study of mercury arc lamps it has been further discovered that the intensity of these lamps may vary temporally as a function

of time, spatially with different areas of the lamp emitting different intensities, or both temporally and spatially, and the temporal variations may also differ at differing wavelengths. The instabilities may include spikes, jumps and broadband noise. In a series of experiments, the intensity of low-pressure discharge mercury lamps was measured over several days using a UV-sensitive PMT detector with a bandpass filter. The lamp intensity was observed to oscillate intermittently over a duration of minutes, hours and even days with an amplitude of up to 5% and a period of 3 to 90 seconds. Similar instabilities can be observed for other sources such as arc lamps. The instabilities are not predictable, may occur for only a few seconds or a few hours and may result in significantly inaccurate measurements, especially when the feature being measured is thin or small. Thus it is important to correct the lamp instabilities in situ with processing of the substrate.

The system 56 further comprises a first radiation detector 62 which serves as a sample detector for detecting radiation 64 emanating from the chamber 28 and after the radiation is reflected from the chamber walls or substrate 20. A single radiation detector 62 may be used to detect both the reflected radiation as well as radiation originating directly from the radiation source 58, by for example, alternating inputs from the source 58 and process chamber 28. Alternatively, the system 56 may also comprise a plurality of detectors, including for example a second radiation detector 63 which serves as a reference detector for detecting radiation emitted from the radiation source 58. The detectors 62, 63 comprise a radiation sensor, such as a photovoltaic cell, photodiode, photomultiplier, or phototransistor, which provides an electrical output signal in response to a measured intensity of the sample radiation 64. The detector signal can comprise a change in the level of a current passing through an electrical component or a change in a voltage applied across an electrical component. The detector may comprise a photomultiplier (PMT), such as those commercially available from Hamamatsu, Japan.

The detectors 62, 63 may be coupled to the chamber 28 by one or more radiation transmitting fibers 69 or other equivalent means for transmitting radiation, such as a radiation conduit, that lead from the chamber 28 to the detectors 62, 63. This reduces noise from the external environment by providing an isolated radiation pathway along which the radiation is carried. The type of fiber 69 depends upon the

radiation being transmitted therethrough, for example, an optical fiber is suitable for the transmission of UV or visible radiation. In one version, the fibers 69 comprise one or more sets or bundles of fibers, as shown in Figure 1, with for example, one fiber bundle 69a being used to transmit radiation emanating from the chamber 28 to a sample detector 62 that measures the radiation properties during processing of a substrate 20 in the chamber 28. Another bundle of fibers 69b is positioned so that one end 71a receives radiation directly from the radiation source 58, and the other two bifurcated ends 71b,c transmit the radiation to a reference detector 63 and to the chamber 28, respectively. This arrangement of fibers is suitable for transmitting radiation directly from the source 58 to the chamber and detectors to allow for correction of temporal variations in the properties of the radiation provided by the source, i.e., when a property of the radiation varies over a period of time.

Effective use of ratio mode depends on a sampling method if light intensity varies spatially as well as temporally. Thus, when using a beam splitter or pick-off mirror, the area of the source 58 that is sampled for the reference detector 63 must correspond as closely as possible to that of the area of the source 58 that is sampled to serve as the radiation for the chamber 28b. For example, in the version shown in Figure 2a, a pair of fibers 69c,d are shown with their ends 71d,e provided adjacent to the radiation source 58 to receive radiation therefrom, and with their other ends 71f,g transmitting the radiation to the chamber 28 and the reference detector 63, respectively. Fiber sampling has an intrinsic advantage due to the small size of the fibers 69c,d. If the size of the fibers 69c,d is much larger than the area of the source 58 being sampled, then side-by-side fibers, one for the signal beam to the chamber 28 and one for the reference beam, may be used to sample the same area of the source 58 to provide good cancellation of source fluctuations. The conical fields of view 73a, 73b for each of the fibers 69c,d, respectively, are positioned so that they have a substantially overlapping field of view of the same spatial area of radiation being emitted from the radiation source 58. This ensures that both ends 71d,e of the fibers 69c,d see the same radiation and compensate for both spatial and temporal variations in the properties of the radiation emanating from the source 58. Thus, if there are spatial variations in the property of the radiation, i.e., variations that occur across the area of radiation emitted from the source 58, this arrangement allows both

fibers 69c,d to see the same variation, thereby allowing for compensation of such variations.

If the area of the fibers 69 is large because a bundle is used, then the fibers that are used to collect radiation for the reference detector 63 are in the signal bundle, and may be evenly distributed within the bundle or at the center of the bundle if only a few fibers are used. For example, in the version illustrated in Figure 2b, two sets of fibers 69g,h are spaced apart and distributed so that the radiation seen by each set is from substantially the same sized area of the radiation source 58, which may be a portion or the entire field of radiation emanating from the source 58. For example, the fibers 69g that transmit radiation from the source 58 to the reference detector 63 may be interspersed with the fibers 69h that transmit radiation from the source 58 to the chamber 28 so the conical fields of view 73c,d, respectively, cover an entire radiation transmitting portion of the radiation source. The larger area of the source 58 covered by a plurality of fibers having overlapping field of views 73c,d reduces the spatial variability of the radiation and allows averaging of the radiation signal emanating from a larger portion or area of the radiation source 58. It may also be desirable for both sets of fibers 69g,h to cover the same area of the radiation source 58 so that the same source fluctuations are seen, and this is accomplished by interspersing the fibers to provide overlapping fields of view covering the same region.

In the version illustrated in Figure 2c, a lens 77 (or lens assembly which is not shown) is used to focus radiation from the radiation source 58 onto an end 73 of the fibers 69. The lens 77 can match the field of view of the fibers 69 thereby allowing more radiation to be incident on the fibers and is particularly useful when the area of the end 73 of the fibers 69 is much smaller than the radiation emitting area of the radiation source 58. Again, because a larger area of radiation from the source 58 is concentrated and focused onto the end of the fibers 69, there is provided enhanced averaging of the spatial variations of the radiation emanating from the radiation source 58, thereby further reducing the effect of such variations. Alternatively, the lens 77 can be used to couple light from a selected region of the radiation source if that region is more stable.

Figure 2d illustrates simply that the radiation source 58 may also be the plasma in the chamber 28 that emits radiation, and when such a source is used the fibers 69e,f are positioned to receive the reflected radiation 64 from the substrate 20, as well as reference radiation 62 which is not reflected from the substrate 20 and originates directly from the plasma in the chamber 28. For example, the fibers 69e are positioned to transmit reflected radiation 64 from the substrate 20 directly to the sample detector 62; and the fibers 69f transmit radiation from a portion of the plasma which is not reflected from the substrate -- by being pointed toward another region such as a wall 50 in the chamber 28 -- to the reference detector 63a. In another embodiment, the reference detector 63b also receives radiation 62b originating from the plasma but which is viewed from the side of the plasma (which does not interact with the substrate) and not from the top of the plasma (which does interact with the substrate). In these versions, the fluctuations in plasma intensity that arise from species emission changes, plasma brightness variations, or other such variations, are needed to compensate for the fluctuation and are detected by collecting plasma light which is not reflected off the substrate 20.

In these versions, the fibers 69 may preferably lead directly to the reference detector 63 so that the radiation pathway travels along the fiber to the reference detector 63 substantially without ending or breaking in the process chamber 28 and without ending or breaking for moving parts (although the radiation may pass through a nonmoving filter). This direct connection via the fiber 69 is less prone to collect noise from outside light sources and easy to configure in different types of apparatuses. Thus, the directly connected fibers 69 are advantageous over other light transmitting systems employing either moving parts (such as monochromators) or more complex parts (such as conventional beam splitters). However, the fibers 69 may be replaced by a beam splitter (not shown) such as a semipermeable mirror to transmit a reference signal to a detector 63. While the beam splitter will work, it is generally preferred to use fibers 69 to transmit radiation originating from the radiation source 58 directly to the detector 63. This is because conventional beam splitters are more costly and complex and require additional mounting and positioning means. Also, although a conventional beam splitter works well with a well-defined and collimated beam with a consistent profile, if the intensity of the radiation from the

source 58 varies spatially, the portion of the beam which acts as a reference must be selected by additional optics and such means.

Optionally, a lens 66 (or assembly of lenses) is used to focus radiation emitted by the radiation source 58 onto the substrate 20 and/or to focus radiation 64 at least partially reflected back from the substrate 20 onto the sensor of the detector 62. For example, for a radiation source 58 comprising a Hg-discharge lamp located outside the chamber 28, as shown in Figure 1, a plurality of convex lenses 68a, 68b can be used to focus radiation from the lamp through the window 61 and onto a beam spot 70 on the substrate 20. The area of the beam spot 70 should be sufficiently large to provide an accurate measurement of the surface topography of the substrate 20. The lenses 68a, 68b can also be used to focus reflected radiation 64 back onto the sensor of the radiation detector 62. The configuration in which radiation strikes the substrate at an incident angle of about 90° , as shown in Figure 1, is preferred for interferometry; however, as is known in the art, other incident angles can also be used and the apparatus 26 for receiving the reflected radiation positioned accordingly.

Optionally, a positioner 72 is used to scan the incident radiation 60 across the substrate surface to locate a suitable portion of the substrate 20 on which to "park" the beam spot 70. The positioner 72 comprises one or more primary mirrors 74 that rotate at small angles to deflect radiation from the radiation source 58 onto different positions of the substrate surface (as shown). Alternatively, the mirrors 74 can also direct radiation emitted from a plasma emission and at least partially reflected off the substrate 20 back onto the radiation detector 62. Additional secondary mirrors (not shown) can be used to intercept and focus reflected radiation back on the radiation detector 62. The positioner 72 can also be used to scan the radiation in a raster pattern across the substrate 20. In this version, the positioner 72 further comprises a movable stage (not shown) upon which the radiation source 58, lens assembly 66, and radiation detector 62 are mounted. The movable stage can be moved through set intervals by a drive mechanism, such as a stepper motor, that scans or otherwise moves the beam spot 70 across the substrate 20.

Radiation having a plurality of wavelengths, such as polychromatic light from a lamp or a plasma emission spectra, can be reduced to a single or narrow band of wavelengths by placing a monochromator or filter 75, 76 in the path of the radiation detector 63 and/or the incident or reflected radiation 60, 64. The monochromator or filter 76 may be located in the lens assembly 66 but can also be located at other positions in the chamber 28, for example, in the chamber window 61, in front of the radiation detectors 62, 63 or in front of the radiation source 58. A suitable filter comprises a stack of thin films on a transparent support that selectively transmits radiation having the desired wavelength or a lens made from a material that selectively passes radiation having the desired wavelength. The monochromator 75, 76 can also comprise a diffraction grating having a diffraction spacing that scatters radiation having undesirable wavelengths and allow radiation having the desired wavelength to pass through. Although usable in some embodiments, rotating disk monochromators and varying wavelength filters are not preferred because of their greater complexity. For enhanced simplicity and reliability, the monochromator or filter preferably does not have moving parts. Other suitable filtering means, for example, attenuation of radiation through a long pathlength in a partially absorbing material, or selective filtering by the radiation detectors 62, 63 to generate an electrical signal based only the portion radiation having the desired wavelength, can also be used. Since the intensity of the source radiation at different wavelengths can vary independently, it is usually desirable to select for the same wavelength for both the sample and reference radiation.

Properties of the radiation, such as intensity, phase, or wavelength are measured by the radiation detectors 62, 63 and converted to electrical signals. The detectors 62, 63 are capable of detecting a first property of a reflected radiation emanating from the chamber 28 and a second property of the radiation originating from the radiation source 58. The first and second properties can be different properties or the same property. The electrical signals from the detectors 62 (the sample signal) and 63 (the reference signal) are transmitted to a signal analyzer 130 which electrically manipulates or operates on the electrical signals to reduce the effect of the fluctuations in the characteristics of the radiation as it originates from the radiation source 58. For clarity, the signal analyzer 130 and signal monitoring

software 126 are shown as separate components in Figure 1; however, these components can be the same thing and are usually part of the computer 114.

In a first embodiment of the invention, the signal analyzer 130 normalizes a first property of the reflected radiation relative to a second property of the radiation originating from the radiation source 58. By "normalizing" it is meant that the measured first property of the sample signal is modified by the measured second property of the reference signal to derive a normalized signal that takes into account or has compensated for fluctuations of the source radiation. Thus, normalizing could involve modifying the sample and reference signals by subtraction of one signal from the other, division, or other types of mathematical operations or comparisons, and combinations of these methods. A particular signal normalizing procedure that is found to be especially advantageous for use in semiconductor process chambers, especially plasma chambers, is obtaining a normalized sample signal by dividing the sample signal with the reference signal. The division process of normalization is preferred because it does not require gain matching in the sample and reference channels. In a typical normalization step, the signal analyzer 130 mathematically operates on the sample and reference signals to determine a normalized sample signal by the expression:

$$X_n = X_t / Y_t ;$$

where X_n is the normalized sample signal, X_t is the original sample signal at time t , and Y_t is the reference signal also the at same time t . Variations in X_t due to the source will be canceled by the source reference Y_t .

Even more accurate and less noisy signals can be obtained by accounting for other effects which create differences between the sample and reference signals. Specifically, if the processing environment has radiation which is not from the source (e.g., ambient light), this will add to the sample signal but not to the reference signal. In addition, radiation detectors may have dark current, yielding a nonzero signal when no light is present. Since stray light in the reference channel can be controlled, and detector dark current can be minimized with appropriate choice of detector type and offset electronics, background light in the sample signal channel is typically the dominant factor requiring compensation. During processing in a process chamber 28, where an external radiation source is used and the corresponding

reflected radiation is used to monitor events in the process chamber, radiation emitted by the plasma is usually the primary source of background radiation. Thus a correction for background radiation can also be applied by the signal analyzer 130 to further reduce the effect of fluctuations in the source and background radiation. The signal analyzer 130 mathematically operates on the sample signals to determine a sample signal corrected for background fluctuations, as shown in equations (1) and (4) below.

In a preferred method, the signal analyzer 130 mathematically operates on the sample and reference signals to determine a normalized sample signal corrected for both source fluctuations and ambient background, using the expression:

$$X_m = X_t / \{Y_0 + C(Y_t - Y_0)\} \quad (1)$$

where C is the correction factor, Y_0 is the reference signal at time 0, X_t is the sample signal at time t, and Y_t is the reference signal at time t. The correction factor C is determined by:

$$C = \{(X_t - X_1) / X_1\} \{Y_0 / (Y_t - Y_0)\} \quad (2)$$

In a process where background radiation is generated (such as plasma processing), the sample signal data point obtained at a time 1 (i.e., at a sufficiently early time when the reflected source signal has not significantly changed from its initial state) can be expressed as:

$$X_1 = X_0 + B_1 \quad (3)$$

Assuming the background radiation is constant, $B_t = B_1$ for all measurements, i.e., $t = 2, 3$, etc.

Since the detector gain is constant for small and large signals, the substitution $(X_t - X_1) / (Y_t - Y_0) \sim X_0 / Y_0$ can be made, yielding:

$$C = X_0 / X_1 \quad (4)$$

The system analyzer 130 can use the expression of equation 4 to automatically calculate the correction factor C and apply the correction factor to calculate a normalized sample signal using equation 1. In an alternative embodiment, equation 2 rather than equation 4 can be used to calculate the correction factor.

An embodiment of the invention using correction for background light in an etching process may be better understood with reference to the flowchart in Figure 3. Initial measurements of the sample and reference signals are acquired.

Then the plasma is ignited. After the plasma has stabilized, but before significant etching has taken place, a sample signal, X_1 , is acquired and used to calculate the correction factor C according to equation 4. The etching process is monitored as a function of time by measuring the sample signal, X_t , and the reference signal, Y_t . The signal analyzer 130 inputs these signals and the correction factor in equation 1 to calculate the normalized sample signal X_{nt} . In this manner, accurate and reliable etch measurements are achieved even in the presence of background radiation and source lamp variations. The normalized sample signal is continuously monitored by the signal analyzer 130 and/or the computer 114 until the desired etch depth (or, alternatively viewed, layer thickness) has been obtained. This can be either by obtaining a desired value or desired pattern such as an interference pattern or characteristic endpoint waveform. At this point, the signal analyzer 130 or the computer 114 relays a signal to the process controller and the etch process is stopped. Thus etched features having the desired dimensions or a thickness of a layer deposited on the substrate or in the substrate itself are accurately and reliably obtained. The process may be monitored and controlled by a human through monitor interface 118 or the process may be entirely controlled via the automated system 110.

In another version of the invention, the instability of the radiation source 58 is addressed by monitoring the radiation emitted by the source and using a feedback controller 87 comprising a conventional closed loop feedback circuit to control power to the radiation source 58 to regulate any fluctuations or instabilities of its radiation output. For example, Figures 6 and 7 show two methods to achieve constant light output using the feedback control method instead of the normalizing mode. Both methods use a reference detector 63 which senses a radiation output or other property from the radiation source 58, either directly or using a beam splitter or fibers 69 as described herein. In the version illustrated in Figure 6, a reference detector 63 sends a reference signal as feedback to a difference (error) amplifier 79 to control a programmable power supply 81 which powers the radiation source 58. When the reference signal deviates from a desired or constant level, an error signal generated by the feedback controller 87 instructs the power supply 81 to correct in the direction of reducing the error, to try to maintain the source radiation at a controlled and flat output level.

Figure 7 illustrates another version of the feedback controller 87, in which a reference detector 63 is used to control a radiation modulator 83 in the path of the radiation output transmitted to the process chamber 28. The radiation modulator 83 is a device that modifies or otherwise changes a property of the radiation passing through it. For example, a radiation intensity may be controlled by a radiation modulator 83 comprising a low mass mechanical shutter, mirror, or variable density screen as means for partially attenuating the radiation that moves to block, filter, or otherwise reduce the radiation intensity level from the radiation source 58. The radiation modulator 83 may also comprise an electro-optical or acoustic-optical transducer that may operate at higher frequencies. Other radiation modulators 83 may also be used which incorporate other elements, such as lenses and diffraction gratings or moving mirrors.

While the feedback controller 87 may be effective in reducing source fluctuations, it may have some disadvantages over the normalizing method. For example, the feedback method may require limiting the nominal radiation output to a lower level than maximum attainable level to enable proper control of source fluctuations. Also, the normalizing method may be preferred for applications requiring as much radiation output as possible to enhance the signal to noise ratio. Other considerations relate to the flexibility and dynamic range that is desirable. For example, as a radiation source 58, such as a lamp, ages its output decreases over time, the feedback method can only correct over a limited range while the normalizing method can correct over the entire range. In addition, the normalizing method may be less limiting because it may also be used to compensate for background radiation or other effects.

Controller and Computer System

The chamber and endpoint detection system 56 is operated by a chamber controller 110 that executes software of a computer-readable program 112 of a computer system comprising a central processor unit (CPU) 114, such as for example a 68040 microprocessor, commercially available from Synergy Microsystems, California, or a Pentium Processor commercially available from Intel Corporation, Santa Clara, California, that is coupled to a memory 116 and peripheral computer

components. The memory 116 comprises a computer-readable medium having a computer-readable program embodied therein. Preferably, the memory 116 is a hard disk drive 122, but the memory can also be other kinds of memory, such as random access memory (not shown). In addition to memory 116, controller 110 can include a floppy disk drive 122 and a card rack. The interface between an operator and the controller 110 can be, for example, via a monitor 118 and a light pen 120, as shown in Figure 1. The light pen 120 detects light emitted by the monitor 118 with a light sensor in the tip of the light pen 120. To select a particular screen or function, the operator touches a designated area of a screen on the monitor 118 and pushes the button on the light pen 120. Typically, the area touched changes color, or a new menu is displayed, confirming communication between the user and the controller 110. In the preferred embodiment, two monitors 118 and light pens 120 are used, one mounted in a clean room for the operators and the other behind the wall for service technicians. Both monitors 118 simultaneously display the same information, but only one light pen 120 is enabled.

Other computer-readable programs such as those stored on other memory including, for example, a floppy disk or other computer program product inserted in a disk drive 122 or other appropriate drive, may also be used to operate the controller 110. The computer system card rack contains a single-board computer, analog and digital input/output boards, interface boards, and stepper motor controller boards. Various components of the apparatus 26 conform to the Versa Modular European (VME) standard, which defines board, card cage, and connector dimensions and types. The VME standard also defines the bus structure having a 16-bit data bus and 24-bit address bus.

The computer program 112 generally comprises process control software 124 comprising a set of instructions of program code to operate the chamber 28 and its components, signal monitoring software 126, safety systems software, and other control software. The computer-readable program can be written in any conventional computer-readable programming language, such as for example, assembly language, C, C++, Pascal, or Fortran. Suitable program code is entered into a single file, or multiple files, using a conventional text editor and stored or embodied in the computer-usable medium of the memory 116 of the computer

system. If the entered code text is in a high level language, the code is compiled, and the resultant compiler code is then linked with an object code of precompiled library routines. To execute the linked, compiled object code, the user invokes the object code, causing the CPU 114 to read and execute the code to perform the tasks identified in the program.

The processes for etching the substrate 20 and optionally cleaning the chamber 28 are implemented by the process control software 124 and is executed by the process controller 128. The process control software 124 includes sets of instructions that dictate the timing, gas compositions, gas flow rates, chamber pressure, chamber temperature, RF power levels, support position, heater temperature, and other parameters of a particular process. Figure 5 is an illustrative block diagram of the hierarchical control structure of the process control software 124, according to a specific embodiment. Using a light pen interface, a user enters a process set number and process chamber number into a process selector instruction set 132 in response to menus or screens displayed on the CRT terminal. The process sets are predetermined groups of process parameters necessary to carry out specified processes, and which are identified by predefined set numbers. Process selector instruction set 132 identifies (i) a desired process chamber 28, and (ii) the desired set of process parameters needed to operate the process chamber for performing the desired process. The process parameters for performing a specific process relate to process conditions, without limitations, such as for example, gas composition, gas flow rates, temperature, pressure, plasma conditions such as RF power levels (and in addition, microwave generator power levels for embodiments equipped with remote microwave plasma systems), cooling gas pressure and chamber wall temperature. Process selector instruction set 132 controls what type of process (etching, deposition, wafer cleaning, chamber cleaning, chamber gettering, reflowing) is performed at a certain time in chamber. In some embodiments, there may be more than one process selector instruction set 132. The process parameters are provided to the user in the form of a recipe and may be entered utilizing the light pen and monitor interface.

A process sequencer instruction set 134 comprises program code for accepting the identified process chamber 28 and set of process parameters from the

process selector instruction set 132, and for controlling operation of the various process chambers. Multiple users can enter process set numbers and process chamber numbers or a single user can enter multiple process set numbers and process chamber numbers, so the sequencer instruction set 134 operates to schedule the selected processes in the desired sequence. Preferably the sequencer instruction set 134 includes program code to perform the steps of (i) monitoring the operation of the process chambers 28 to determine if the chambers are being used, (ii) determining what processes are being carried out in the chambers being used, and (iii) executing the desired process based on availability of a process chamber 28 and the type of process to be carried out. Conventional methods of monitoring the process chambers 28 can be used, such as polling. When scheduling which process is to be executed, sequencer instruction set 134 can be designed to take into consideration the present condition of the process chamber 28 being used in comparison with the desired process conditions for a selected process, or the "age" of each particular user-entered request, or any other relevant factor a system programmer desires to include for determining scheduling priorities.

Once the sequencer instruction set 134 determines which process chamber 28 and process set combination is going to be executed next, the sequencer instruction set 134 initiates execution of the process set by passing the particular process set parameters to a chamber manager instruction set 136 that controls multiple processing tasks in a process chamber 28 according to the process set determined by the sequencer instruction set 134. For example, the chamber manager instruction set 136 comprises program code for controlling etch or deposition operations in the process chamber 28. Chamber manager instruction set 136 also controls execution of various chamber component instruction sets that control operation of the chamber components necessary to carry out the selected process set. Examples of chamber component instruction sets are substrate positioning instruction set, gas flow control instruction set 140, gas pressure control instruction set 142, optional heater control instruction set 144 for chambers equipped with a heater in the support, and plasma control instruction set 146. Depending on the specific configuration of the chamber 28, some embodiments include all of the above instruction sets or instruction set, while other embodiments may include only some of the instruction sets. Those having ordinary skill in the art would readily recognize that

other chamber control instruction sets can be included depending on what processes are to be performed in the process chamber 28.

In operation, the chamber manager instruction set 136 selectively schedules or calls the process component instruction sets in accordance with the particular process set being executed. The chamber manager instruction set 136 schedules the process component instruction sets much like the sequencer instruction set schedules which process chamber 28 and process set are to be executed next. Typically, chamber manager instruction set 136 includes steps of monitoring the various chamber components, determining which components need to be operated based on the process parameters for the process set to be executed, and initiating execution of a chamber component instruction set responsive to the monitoring and determining steps.

Operation of chamber component instruction sets will now be described. The substrate positioning instruction set 138 comprises program code for controlling chamber components that are used to load the substrate 20 onto the support 32 and optionally, to lift the substrate 20 to a desired height in the chamber 28 to control the spacing between the substrate 20 and the gas outlets 38 of the gas delivery system 34.

The process gas control instruction set 140 has program code for controlling the flow rates of different constituents of the process gas. The process gas control instruction set 140 controls the open/close position of the safety shut-off valves, and also ramps up/down the mass flow controllers to obtain the desired gas flow rate. The process gas control instruction set 140 is invoked by the chamber manager instruction set 136, as are all chamber component instruction sets, and receives process parameters related to the desired gas flow rates from the chamber manager 136. Typically, the process gas control instruction set 140 operates by opening the gas supply, and repeatedly (i) reading the necessary mass flow controllers, (ii) comparing the readings to the desired flow rates received from the chamber manager instruction set 136, and (iii) adjusting the flow rates of the gas supply lines as necessary. Furthermore, process gas control instruction set 140 includes steps for monitoring the gas flow rates for unsafe rates and activating the

safety shut-off valves when an unsafe condition is detected. Process gas control instruction set 140 also controls the gas composition and flow rates for clean gases as well as for etching or deposition gases, depending on the desired process (etching, clean or deposition or other) that is selected. Alternative embodiments could have more than one process gas control instruction set 140, each instruction set controlling a specific type of process or specific set of gas flow controllers.

In some processes, an inert gas such as nitrogen or argon is flowed into chamber 28 to stabilize the pressure in the chamber before reactive process gases are introduced. For these processes, the process gas control instruction set 140 is programmed to include steps for flowing the inert gas into chamber 28 for an amount of time necessary to stabilize the pressure in the chamber, and then the steps described above would be carried out. Additionally, when a process gas is to be vaporized from a liquid precursor, for example in the deposition of TEOS-derived glass, process gas control instruction set 140 is written to include steps for bubbling a delivery gas, such as helium, through the liquid precursor in a bubbler assembly, or for introducing a carrier gas, such as helium, to a liquid injection system. When a bubbler is used for this type of process, the process gas control instruction set 140 regulates the flow of the delivery gas, the pressure in the bubbler, and the bubbler temperature in order to obtain the desired process gas flow rates. As discussed above, the desired process gas flow rates are transferred to the process gas control instruction set 140 as process parameters. Furthermore, the process gas control instruction set 140 includes steps for obtaining the necessary delivery gas flow rate, bubbler pressure, and bubbler temperature for the desired process gas flow rate by accessing a stored table containing the necessary values for a given process gas flow rate. Once the necessary values are obtained, the delivery gas flow rate, bubbler pressure, and bubbler temperature are monitored, compared with the necessary values, and adjusted accordingly.

The pressure control instruction set 142 comprises program code for controlling the pressure in the chamber 28 by regulating the aperture size of the throttle valve 44 in the exhaust system 42 of the chamber. The aperture size of the throttle valve 44 is set to control the chamber pressure at a desired level in relation to the total process gas flow, the size of the chamber 28, and the pumping set-point

pressure for the exhaust system 42. When the pressure control instruction set 142 is invoked, the desired or target pressure level is received as a parameter from the chamber manager instruction set 136. The pressure control instruction set 142 measures the pressure in the chamber 28 by reading one or more conventional pressure manometers connected to the chamber 28, compares the measure value(s) with the target pressure, obtains PID (proportional, integral, and differential) values corresponding to the target pressure from a stored pressure table, and adjusts the throttle valve 44 according to the PID values obtained from the pressure table. Alternatively, the pressure control instruction set 142 can be written to open or close the throttle valve 44 to a particular aperture size to regulate the pumping capacity in chamber 28 to the desired level.

Optionally, the heater control instruction set 144 comprises program code for controlling the temperature of an optional heater element (not shown) used to resistively heat the support 32 and substrate 20. The heater control instruction set 144 is also invoked by the chamber manager instruction set 136 and receives a target, set-point, or temperature parameter. The heater control instruction set 144 measures the temperature by measuring voltage output of a thermocouple located in the support, comparing the measured temperature with the set-point temperature, and increasing or decreasing current applied to the heating unit to obtain the set-point temperature. The temperature is obtained from the measured voltage by looking up the corresponding temperature in a stored conversion table or by calculating the temperature using a fourth-order polynomial. When an embedded loop is used to heat support, the heater control instruction set 144 gradually controls a ramp up/down of current applied to the loop. Additionally, a built-in, fail-safe mode can be included to detect process safety compliance and to shut down operation of the heating unit if the process chamber 28 is not properly set up.

The plasma control instruction set 146 comprises program code for setting low and high-frequency RF power levels applied to the process electrodes 50, 52 in the chamber 28. Like the previously described chamber component instruction sets, the plasma control instruction set 146 is invoked by the chamber manager instruction set 136. For embodiments including remote plasma generator 46, the

plasma control instruction set 146 would also include program code for controlling a remote plasma generator (not shown).

The endpoint detection instruction set 148 comprises program code that obtains the sample and reference signals from the signal analyzer and normalizes the property of the reflected radiation relative to the property of the radiation originating from the radiation source 58, the properties comprising one or more of an intensity, phase or wavelength. The normalization method, i.e., dividing, subtracting, or multiplying the two signal properties is pre-programmed into the computer software. In addition, the compensation factor for determining background radiation is also written as program code. The endpoint detection instruction set 148 further comprises program code for performing other functions, such as detecting the endpoint of the process being performed on the substrate 20 based on a pre-determined method of evaluating the normalized sample signal and sending instructions to the chamber manager instruction set 136 or other instruction sets to change the process or other chamber conditions.

EXAMPLE

The following example illustrates the operation and superior results obtained through use of the present invention. The apparatus used is essentially that depicted in Figure 1, and is a Model Si ETCH DPS available from Applied Materials, Santa Clara, California. A blank silicon wafer was loaded into the process chamber. The source mercury discharge lamp and the sample and reference detectors were turned on. The source mercury discharge lamp was a Model CPG-1, available from Jelight Co. of Irvine, California; and the sample and reference detectors (photomultipliers, Hamamatsu Model R728). Either optical bandpass filters or monochromators were used to select the mercury emission at about 254 nm. The radiation transmitting fiber was used to transmit light from the lamp to the reference detector and the process chamber, and from the process chamber to the sample detector. A sample signal (X_0) and reference signal (Y_0) were acquired before igniting a plasma.

A plasma was ignited at 600W power for a process gas comprising SF_6 introduced into the chamber. Two detectors were used to simultaneously acquire the reference (Y) and sample (X) signals. The signals were transmitted to the signal analyzing computer, namely the Centura Endpoint Computer, available from Applied Materials, Santa Clara, California. The computer calculated the correction factor from the expression $C = X_0 / X_1$, and calculated the corrected sample signal using the expression $X_{nc} = X_t / \{Y_0 + C(Y_t - Y_0)\}$. A plot of the signals from 10 to 20 seconds is shown in Figure 4, where trace a is the sample signal, trace b is the reference signal and trace c is the corrected signal.

In this example, the apparatus and methods of the present invention (without background correction) achieved a 10 fold (1000%) improvement in the signal-to-noise ratio of the sample signal. The apparatus and methods of the present invention (with background correction, signal c) achieved a 40 fold (4000%) improvement in the signal-to-noise ratio of the sample signal.

Since a blank wafer was used in this experiment, the signal c in Figure 4 is featureless and smooth. In actual use, a wafer being etched would produce a time varying signal which, with the present invention, can be of small amplitude and still be readily detectable.

The present invention has been illustrated by way of an exemplary plasma etching process, however, other versions are possible. For example, the monitoring process and apparatus can be used for other processes and in other chambers as would be apparent to one of ordinary skill, including without limitation, sputtering chambers, ion implantation chambers and other deposition chambers. Therefore, the spirit and scope of the appended claims should not be limited to the description of the preferred versions contained herein.

What is claimed is:

1. A substrate processing apparatus comprising:
 - (a) a chamber comprising a radiation source;
 - (b) one or more detectors to detect a first radiation from the chamber, and a second radiation from the radiation source; and
 - (c) a signal analyzer to normalize a property of the first radiation relative to a property of the second radiation.
2. An apparatus according to claim 1 wherein the detectors are adapted to detect the same property of the first and second radiation, the property comprising one or more of an intensity, phase or wavelength.
3. An apparatus according to claim 1 wherein the detectors are adapted to detect the first and second radiation to determine an endpoint of the process.
4. An apparatus according to claim 1 comprising a first detector to detect a first radiation that is reflected in the chamber and generate a sample signal; and a second detector to detect a second radiation from the radiation source and generate a reference signal.
5. An apparatus according to claim 4 wherein the signal analyzer normalizes the reference and sample signals relative to one another to determine a normalized signal.
6. An apparatus according to claim 5 wherein the signal analyzer normalizes the reference and sample signals by determining a ratio of the signals.
7. An apparatus according to claim 6 wherein the signal analyzer is adapted to determine a corrected sample signal by applying a correction factor to the normalized signal.

8. An apparatus according to claim 7 wherein the signal analyzer determines a corrected sample signal, X_{nt} , using the expression $X_{nt} = X_t / \{Y_0 + C(Y_t - Y_0)\}$,

where C is the correction factor, Y_0 is the reference signal at time 0, X_t is the sample signal at time t, and Y_t is the reference signal at time t.

9. An apparatus according to claim 8 wherein the signal analyzer determines the correction factor using the equation $C = \{Y_0(X_1 - X_t)\} / \{X_1(Y_t - Y_0)\}$, where X_1 is the sample signal at time 1.

10. An apparatus according to claim 8 wherein the signal analyzer determines the correction factor by the equation $C = X_0 / X_1$; where X_0 is the sample signal at time 0; and X_1 is the sample signal at time 1.

11. An apparatus according to claim 4 further comprising a radiation pathway capable of transmitting the second radiation from the radiation source to the second detector.

12. An apparatus according to claim 11 wherein the radiation pathway is in a radiation transmitting fiber.

13. An apparatus according to claim 12 wherein the radiation transmitting fiber comprises an optical fiber.

14. An apparatus according to claim 1 wherein the radiation source comprises a lamp, light emitting diode, laser, or a radiation emission from a plasma in the chamber.

15. A method for monitoring processing of a substrate in a chamber, the method comprising the steps of:

- (a) providing radiation in the chamber, detecting the radiation after it interacts with the substrate being processed, and generating a sample signal;
- (b) detecting a reference radiation that does not interact with the substrate and generating an reference signal; and

(c) normalizing the sample signal relative to the reference signal.

16. A method according to claim 15 wherein step (c) comprises the step of determining a ratio of the reference signal and the sample signal, or subtracting the reference signal from the sample signal.

17. A method according to claim 16 further comprising the step of correcting for a background radiation by applying a correction factor to the sample signal to determine a corrected sample signal.

18. A method according to claim 17 comprising the step of determining the corrected sample signal, X_{nt} , using the expression $X_{nt} = X_t / \{Y_0 + C(Y_t - Y_0)\}$;

wherein C is the correction factor, Y_0 is the reference signal at time 0, X_t is the sample signal at time t , and Y_t is the reference signal at time t .

19. A method according to claim 18 comprising the step of calculating the correction factor using the equation $C = \{Y_0(X_t - X_1)\} / \{X_1(Y_t - Y_0)\}$;
wherein X_1 is the sample signal at time 1.

20. A method according to claim 18 comprising the step of calculating the correction factor using the equation $C = X_0 / X_1$;
wherein X_0 is the sample signal at time 0; and X_1 is the sample signal at time 1.

21. A method according to claim 18 wherein step (b) comprises detecting radiation reflected from the substrate being processed in the chamber.

22. A method according to claim 18 further comprising the step of detecting the reference radiation by transmitting radiation from a radiation source directly to a detector.

23. A substrate processing apparatus comprising:

- (a) a chamber capable of processing a substrate, the chamber comprising a radiation source;
- (b) a detector to detect a reflected radiation from the chamber and generate a sample signal; and
- (c) a signal analyzer adapted to receive the sample signal and determine a corrected sample signal, X_{nt} , using the expression $X_{nt} = X_t / \{Y_0 + C(Y_t - Y_0)\}$,

where C is the correction factor, Y_0 is the reference signal at time 0, X_t is the sample signal at time t, and Y_t is the reference signal at time t.

24. An apparatus according to claim 23 wherein the signal analyzer determines the correction factor using the equation $C = \{Y_0(X_t - X_1)\} / \{X_1(Y_t - Y_0)\}$; where X_1 is the sample signal at time 1.

25. An apparatus according to claim 23 wherein the signal analyzer determines the correction factor using the equation $C = X_0 / X_1$; where X_0 is the sample signal at time 0; and X_1 is the sample signal at time 1.

26. An apparatus according to claim 23 wherein the detector is adapted to detect a radiation originating from the radiation source and generate a reference signal, and wherein the signal analyzer is adapted to receive the reference signal and determine a normalized signal from the sample and reference signals.

27. An apparatus according to claim 26 wherein the signal analyzer determines the normalized signal by calculating a ratio of the sample and reference signals.

28. An apparatus according to claim 23 further comprising a radiation pathway capable of transmitting radiation from the radiation source to the reference detector.

29. An apparatus according to claim 28 wherein the radiation pathway is in one or more fibers.

30

30. A substrate processing apparatus comprising:
- (a) a chamber capable of processing a substrate, the chamber comprising a radiation source;
 - (b) a sample detector to detect a reflected radiation from the chamber and generate a sample signal;
 - (c) a reference detector to detect a reference radiation from the radiation source and generate a reference signal; and
 - (d) one or more first fibers to transmit the reference radiation to the reference detector.
31. An apparatus according to claim 30 further comprising second fibers to transmit radiation from the radiation source to the chamber.
32. An apparatus according to claim 31 wherein the first and second fibers are arranged to receive radiation from one or more areas of the radiation source that have about the same size.
33. An apparatus according to claim 32 wherein the areas are from the same region of the radiation source.
34. An apparatus according to claim 31 wherein the first and second fibers are arranged to have substantially overlapping field of views.
35. An apparatus according to claim 31 wherein the first fibers lead directly from the radiation source to the reference detector.
36. An apparatus according to claim 31 further comprising a lens to focus the reference radiation from the radiation source onto the first fibers.
37. An apparatus according to claim 31 further comprising a signal analyzer to receive the reference and sample signals and normalize one relative to the other, and optionally, to correct the sample signal for background radiation.

38. A substrate processing apparatus comprising:

- (a) a chamber capable of processing a substrate, the chamber comprising a radiation source that includes a plasma;
- (b) a sample detector to detect a reflected radiation from a substrate in the chamber and generate a sample signal;
- (c) a reference detector to detect a reference radiation from the plasma and generate a reference signal; and
- (d) one or more first fibers to transmit the reference radiation to the reference detector.

39. An apparatus according to claim 38 wherein the second fibers receive radiation from the side of the plasma, or from an angle of the plasma which is not above the substrate.

40. A substrate processing apparatus comprising:

- (a) a chamber comprising a radiation source;
- (b) a detector to detect a property of a radiation from a radiation source; and
- (c) a feedback controller to regulate a power level of the radiation source in relation to the detected property of the radiation.

41. An apparatus according to claim 40 wherein the feedback controller is adapted to control a power supply that powers the radiation source.

42. An apparatus according to claim 40 wherein the feedback controller is adapted to maintain the property of the radiation at a constant level.

43. An apparatus according to claim 40 wherein the detector is adapted to detect a property of the radiation comprising one or more of an intensity, phase or wavelength.

44. A substrate processing apparatus comprising:
- (a) a chamber;
 - (b) a radiation source;
 - (c) a detector to detect a property of a radiation from a radiation source and generate a reference signal; and
 - (d) a radiation modulator in a path of a radiation being transmitted from the radiation source to the chamber, whereby the radiation modulator may receive a signal from the radiation source and control a property of the radiation in relation to the reference signal.
45. An apparatus according to claim 44 wherein the detector is adapted to detect a property of the radiation comprising one or more of an intensity, phase or wavelength.
46. An apparatus according to claim 44 wherein the radiation modulator is adapted to regulate an intensity of the radiation.
47. An apparatus according to claim 44 wherein the radiation modulator is adapted to maintain the intensity of the radiation at a constant level.
48. An apparatus according to claim 44 wherein the radiation modulator comprises a shutter, mirror, or variable density screen.
49. An apparatus according to claim 48 wherein the radiation modulator comprises a means for partially attenuating the radiation.
50. An apparatus according to claim 44 wherein the radiation modulator comprises an electro-optical or acoustic-optical transducer.
51. An apparatus according to claim 44 wherein the radiation is transmitted to the detector by one or more radiation transmitting fibers.

52. A method for monitoring processing of a substrate in a chamber, the method comprising the steps of:

- (a) providing radiation in the chamber;
- (b) detecting a reference radiation that does not interact with the substrate and generating an reference signal; and
- (c) controlling a property of the radiation in relation to the reference signal.

53. A method according to claim 50 wherein step (c) comprises controlling a power level applied to a power supply of a radiation source.

54. A method according to claim 50 further comprising the steps of detecting the radiation after it interacts with the substrate being processed, and generating a sample signal and determining a ratio of the reference signal and the sample signal, or subtracting the reference signal from the sample signal.

55. A method according to claim 51 further comprising the step of correcting for a background radiation by applying a correction factor to the sample signal to determine a corrected sample signal.

56. A method according to claim 54 comprising the step of transmitting the reference radiation through a fiber.

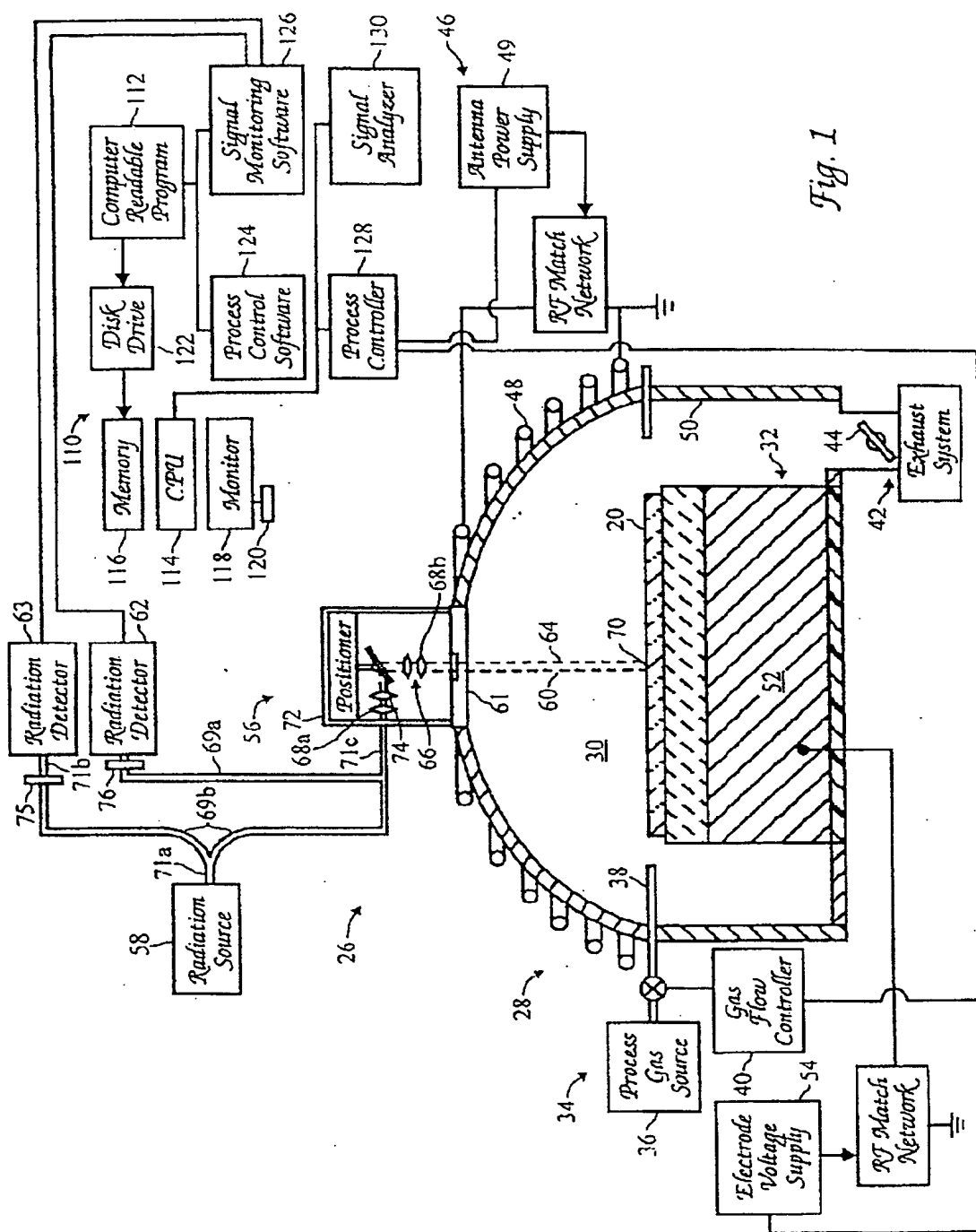
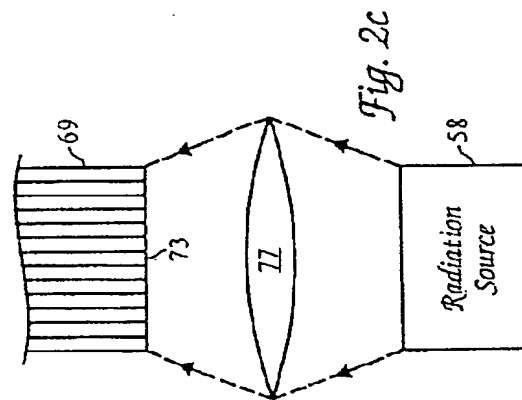
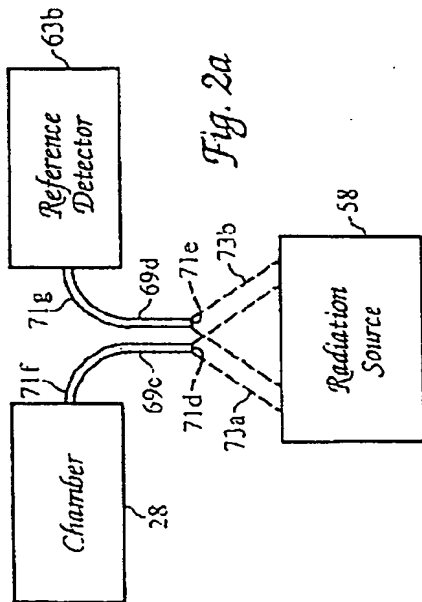
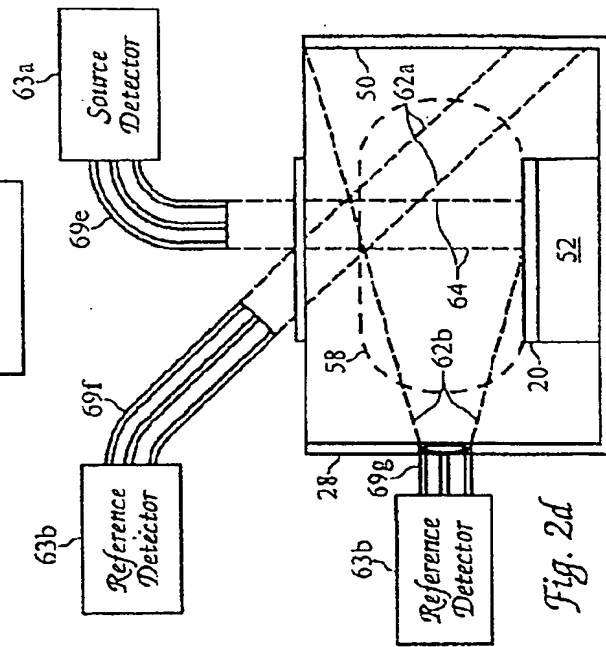
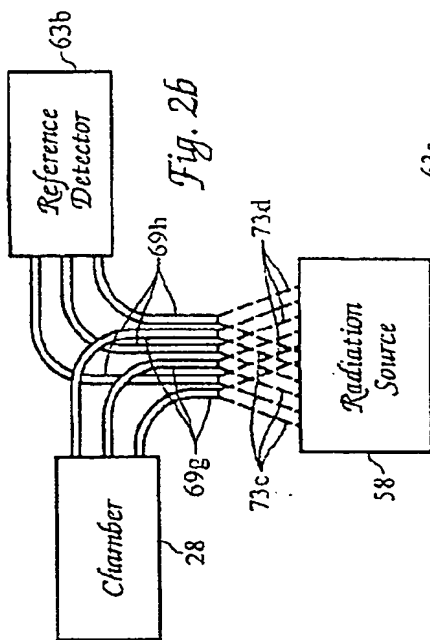


Fig. 1



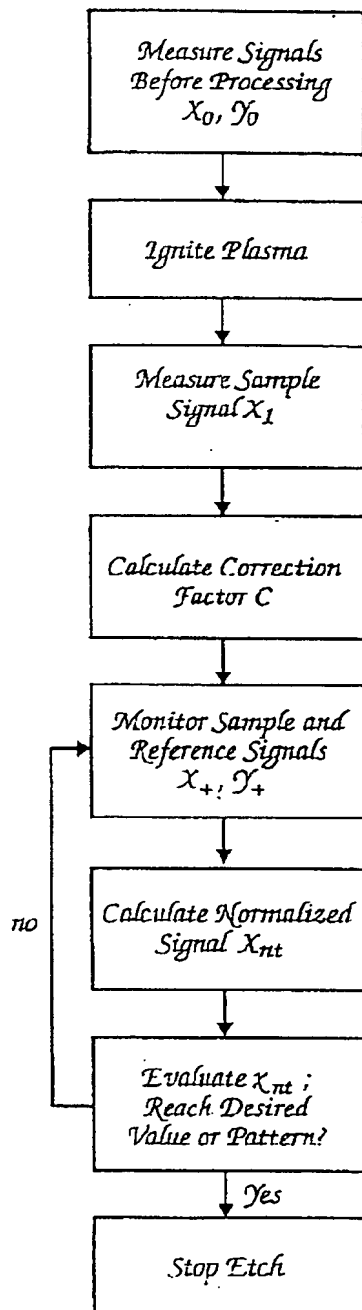


Fig. 3

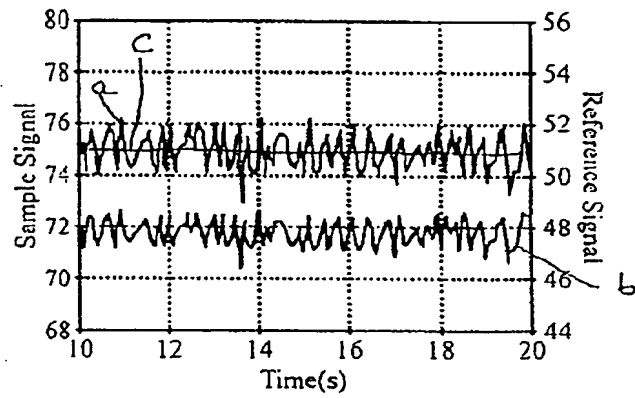
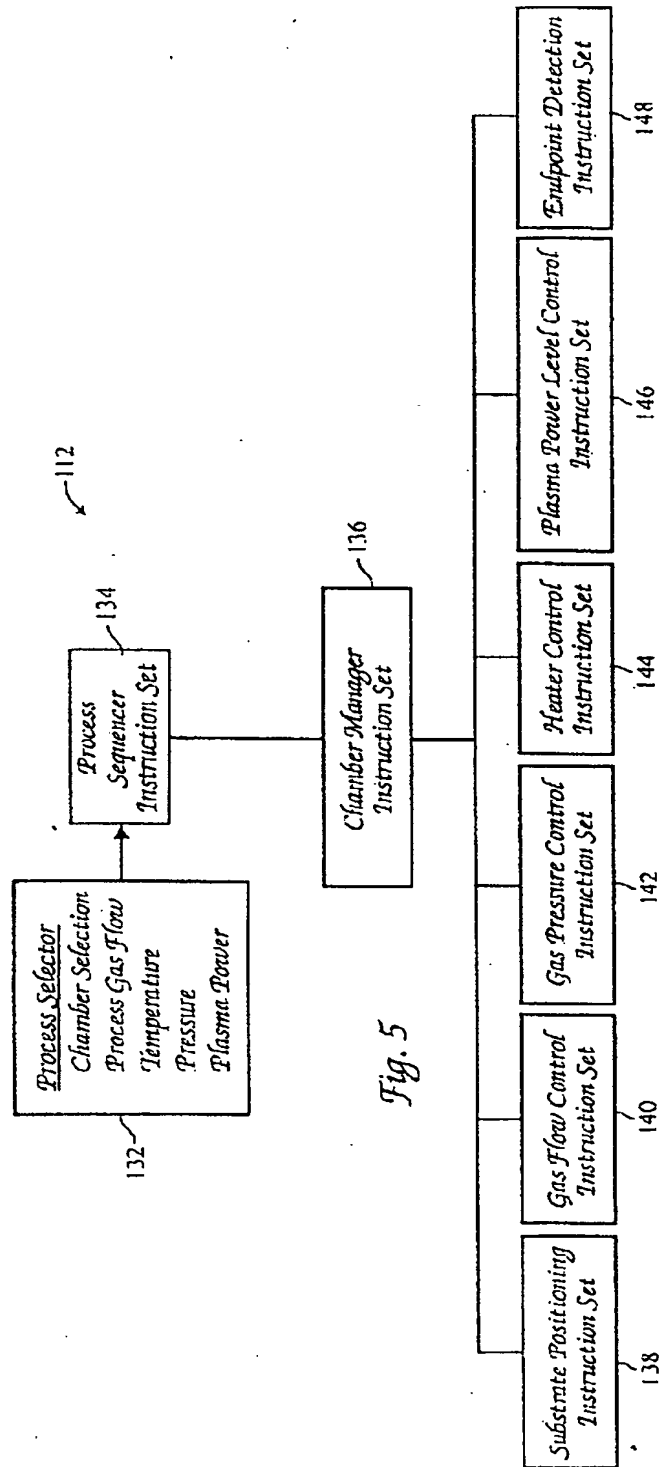


Fig. 4



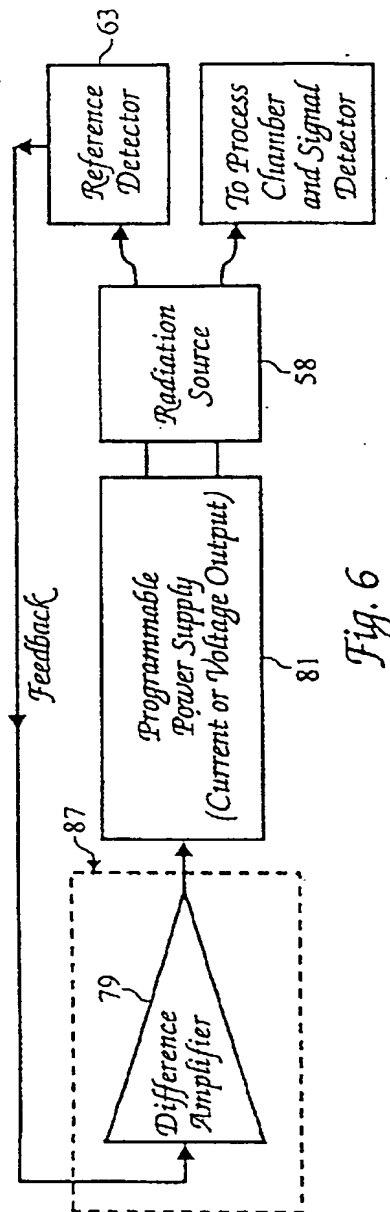


Fig. 6

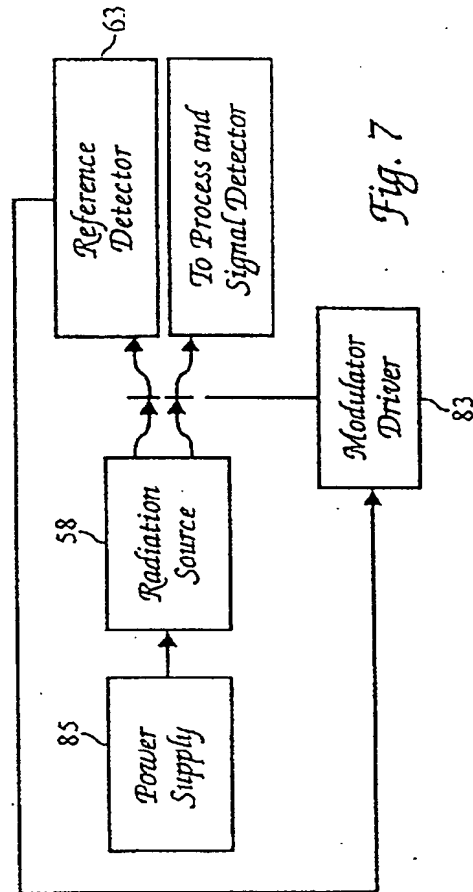


Fig. 7

ABSTRACT

A substrate processing apparatus comprises a process chamber comprising a radiation source. One or more detectors are provided to detect a first radiation from the chamber and a second radiation from the radiation source. A signal analyzer is adapted to normalize the first radiation relative to the second radiation; and optionally, to apply a correction factor to the sample signal.